

Enabling Innovation in construction

# Modelovanie stavebných konštrukcií 2008

## 9. a 10. októbra 2008 Hotel Meander Tatranská Štrba









### **OBSAH**:

Názov prednášky	str.
Robert Hooke – zabudnutý génius !? Ing. Eduard Hobst, Ph.D. Ingenieurbüro Dr. Hobst, Nürnberg	1
Novinky v programu Scia Engineer 2008.0 a 2008.1 Ing. Radim Blažek SCIA CZ, s.r.o., Praha	7
<b>Posúdenie prútových železobetónových konštrukcií podľa EN 1992-1-1</b> Ing. Pavol Valach, PhD. SCIA SK, s.r.o., Žilina	21
<b>Zadání, zobrazení a kreslení výztuže železobetonových konstrukcí</b> Ing. Petr Ševčík SCIA CZ, s.r.o., Brno	37
<b>Dimenzovanie 2D železobetónu podľa EN 1992-1-1</b> Ing. Eduard Hobst, Ph.D. Ingenieurbüro Dr. Hobst, Nürnberg	49
Posouzení předpjatých konstrukcí podle EN 1992-1-1 a EN 1992-2 ve Scia Engineer 2008 a 2008.1 Doc. Ing. Jaroslav Navrátil, CSc. SCIA CZ, s.r.o., Brno, ÚBZK FAST, VUT v Brně	55
Autostrada A2 – obchvat Minsk-Mazowietsky (Poľsko), modelovanie mostov podľa eurocode Ing. Adrián Sedlák DOPRAVOPROJEKT a.s., Bratislava	69
<b>Škrupinové konštrukcie – modelovanie, výpočet, vyhodnotenie výsledkov a pevnostné posúdenie</b> Ing. Daniel Bukov autorizovaný stavebný inžinier, Bratislava	77
<b>Propojení Scia Engineer s Tekla Structures</b> Ing. Zbyněk Pöffel Construsoft, s.r.o., Přerov	81
<b>Propojení Scia Engineer s CAD systémy, IFC</b> Ing. Martin Novák, CSc. SCIA CZ, s.r.o., Praha	91

Názov prednášky	str.
Uživatelský posudek v excelu Ing. Tomáš Luber SCIA CZ, s.r.o., Brno	99
Nové možnosti 64-bitového solveru Ing. Jiří Buček, Doc.Ing. Ivan Němec, CSc., Ing. Jiří Doležal FEM consulting, s.r.o., Brno	107
<b>Stabilitné výpočty v Scia Engineer 2008</b> Ing. Milan Hric, PhD. SCIA SK, s.r.o., Žilina	115
<b>Možnosti nelineární analýzy ve Scia Engineer 2008.1</b> Doc. Ing. Jaroslav Navrátil, CSc., Ing. Drahoslav Kolaja SCIA CZ, s.r.o., Brno, ÚBZK FAST, VUT v Brně	123

## **ROBERT HOOKE – ZABUDNUTÝ GÉNIUS !?**

### Ing. Eduard Hobst, Ph.D.

Ingenieurbüro Dr. Hobst für Statik+Dynamik & Software-Entwicklung Local Product Ingenieur (Concrete) Nemetschek SCIA Spitzenberg 5, D - 90403 Nürnberg

### 1 ÚVOD

Týmto tretím "špeciálnym" príspevkom sa etabluje tradícia neprerušeného cyklu prednášok zameraného na oživenie vedomostí o velikánoch matematiky a stavebnej mechaniky v rámci podujatia *Modelovanie stavebných konštrukcií*. Po prvých príspevkoch, venovaných Leonhardovi Eulerovi [1] (2006) a Carlovi Friedrichovi Gaußovi [2] (2007), nasleduje pojednanie o vedcovi "renesančného formátu", o ktorom vedia dnešní stavební inžinieri veľmi málo, i keď epochálny *Hookeov zákon*, ktorý nám tento *protagonista vedeckej revolúcie* zanechal, sa s Hookeovým menom neomylne spája. Ale práve v tom sa zrkadlí fakt, že Hooke je jedným z najviac "zaznávaných" vedcov modernej histórie: (1) Hookeov zákon nie je "jedným z mnohých", ale naozaj epochálnym objavom; (2) Hooke prispel zásadnou mierou k rozvoju vedných odvetví širokého spektra, a to sa vo všeobecnosti nevie. Nech seminár *Modelovanie stavebných konštrukcií* 2008 napraví "historickú krivdu", ktorej sa ľudstvo dopúšťa na Robertovi Hookeovi, aspoň v spoločenstve slovenských užívateľov software firmy Nemetschek SCIA!

### 2 HOOKEOV ŽIVOT A TVORBA

Robert Hooke sa narodil 18. júla 1635 v mestečku Freshwater na ostrove Wight pri južnom pobreží Veľkej Británie. Bol od malička chorľavý, ako veľa detí v jeho dobe, a trpel bolesťami hlavy, ktoré znemožňovali jeho pravidelnú výuku. V rodine Hookeových bolo tradíciou, že všetci synovia vstupovali do cirkevných služieb; i otec Roberta bol kurátom v kostole Všetkých svätých v Freshwater. Keď sa rodičia zmierili s myšlienkou, že Robert sa nedožije dospelosti, nestane sa teda duchovným, prenechali jeho ďalšie vzdelávanie "náhode". Robertov duch však napriek relatívnej "bezprizornosti" nezakrnul, ale rozvíjal sa vďaka jeho vyhranenému talentu vnímavosti a mechanickej zručnosti. S vášnivou zaujatosťou pozoroval prírodu a dianie v nej, ale i nástroje a prístroje v svojom okolí. Fascinovali ho mechanické hračky a hodiny. Pustil sa sám do ich výroby z dreva – vytvoril napr. fungujúce drevené(!) hodiny a model plne vystrojeného vojnového korábu, i so strieľajúcimi kanónmi. *Waller* napísal v svojej eulógii 1705, že Hooke považoval prírodu za dobre fungujúci stroj a mechaniku za vedu schopnú dokonale opísať prírodné zákony [3].

Hooke prejavil nadanie nielen pre prírodné vedy ale i pre maľbu. Miestny maliar portrétov *J. Hoyskyns* mu dovolil ho sledovať pri práci, a mladý Hooke, vtedy ešte len 10-ročný, sa pozo-rovaním, skúšaním a hlavne kopírovaním Hoyskynsových obrazov naučil tak dobre maľovať, že jeho rodina usúdila, že kreslením a maľovaním bude Robert schopný sa uživiť. A keď onedlho otec John ochorel a rýchlo nato zomrel, poslali Roberta do učenia do Londýna, kde sa ho ujal maliar *Peter Lely*. Hooke sa od tohto predného umelca svojej doby veľa naučil, ale čoskoro si uvedomil, že uňho predsa len *stráca* čas svojho života (a finančné prostriedky z dedičstva po otcovi) a že najdôležitejšie, čo potrebuje, je poriadne vzdelanie. Priznajme si, že nás, starších súčasníkov tejto postmodernej doby, kedy "zlatá mládež" predlžuje svoje "štúdiá" do 30 rokov a dlhšie a žije pritom bezstarostne v "hoteli mama" a na účet daňového poplatníka, napĺňa obdivom pevná vôľa, cieľavedomosť a zodpovednosť voči vlastnému životu teenagera, ktorému ani jeho vlastní rodičia nepriznali šancu dožiť sa dospelého veku, ako hľadá svoju "správnu cestu životom" sám a v cudzom veľkomeste – a pripomenieme si dialóg Pána s Mefistom v kapitole "Prolog im Himmel" v románe *Faust* od *J. W. von Goethe*.

A tak sa Hooke zapísal do *Westminster School*, kde mu poskytol prístrešie v svojom dome rektor *R. Busby*. Pre Hookea bolo šťastím, že sa dostal pod patronát Dr. Busbyho, vynikajúceho učiteľa, ktorý rýchlo spoznal, že má do činenia s mimoriadne nadaným mládencom. Všímame si paralely s Eulerom [1] a Gaußom [2], ktorých talent uchovali pre svet ich schopní a obetaví učitelia?

Už v prvom školskom týždni zvládol Robert prvých 6 kníh *Euklidových Elementov*, a Busby mu povolil štúdium v svojej osobnej knižnici podľa jeho vlastného výberu a plánu. Keď si Hooke po čase uvedomil, že získal všetky vedomosti, ktoré mu jeho prvá škola bola schopná poskytnúť, prestúpil na oxfordskú *Crist College*. Tu sa venoval astronómii, pokračoval v mechanických bádaniach a experimentoch a začal projektovať "lietajúce stroje". Hooke získal veľa pre svoj vedecký rast tým, že vyhľadával spoluprácu s poprednými vedcami svojej doby, ktorí v Oxforde pôsobili. Dostal sa pritom k takým činnostiam, ako napr. testovanie kladiek alebo pitvanie mŕtvol.

V roku 1655 sa stal Hooke asistentom *Roberta Boyle*a a jeho prvým projektom sa stala konštrukcia vzdušnej pumpy. Hooke uspel a vytvoril konštrukciu, ktorá je v princípe pumpou používanou dodnes. Hooke však zásadne pracoval na viacerých ideách súčasne – metóda, ktorá sa javí ako efektívna pre výkonného ducha sršiaceho nápadmi; aspoň tak neprišlo žiadne vnuknutie nazmar. A tak sa Hooke zaoberal súbežne s projektom vzdušnej pumpy i nápadom využiť energiu elastickej pružiny na pohon hodín a podobných prístrojov, napr. pre morskú navigáciu, a tak sa vymaniť zo závislosti na zemskej tiaži, ktorá podmieňuje pohyb kyvadla. S experimentmi začal okolo roku 1658; v roku 1660 sa mu podarilo zostrojiť tzv. *kotvový krokový mechanizmus*, a tým bol v podstate zavŕšený vynález *vreckových hodiniek*. Áno, áno – Hookeov vynález! Kto to dnes vie?

Epochálny objav *Hookeovho zákona pružnosti* sa dostavil nenápadne, práve pri práci na vynáleze hodiniek poháňaných pružinou, v roku 1660. Hooke ho však sám patrične nedocenil a zmienil sa o ňom až vo svojej prednáške *Of Spring*, v roku 1678!

Významnou vedeckou udalosťou európskeho významu bolo založenie Kráľovskej vedeckej spoločnosti, ktorá sa datuje na 15. júla 1662, kedy bola spečatená prvá zakladajúca kráľovská listina, tzv. *First Charter* [4]. Kurátorom (správcom) spoločnosti bol menovaný Robert Hooke a jeho základnou úlohou bolo "predvedenie 3 až 4 významných experimentov" na každej schôdzke riadnych členov Spoločnosti, a tá sa konala každý týždeň.

Pracovná náplň kurátora Hookea nám pripomína nesplniteľnú podmienku kladenú v rozprávke zlým kráľom ľudovému Jankovi, ale čudujme sa: Hooke ju zvládol lepšie ako Janko či Honza! Plných 15 rokov produkoval týždeň čo týždeň (6-týždňové dovolenky sa vtedy nepriznávali) ohňostroj originálnych nápadov. Spoločnosť prosperovala predovšetkým vďaka geniálnemu Hookeovi; na druhej strane treba priznať, že neprestajná činnosť na príprave ďalších a ďalších experimentov, ktorá mu neumožnila zahĺbiť sa do jedného problému, vyhovovala jeho neúnavnému naturelu a neutíchajúcemu nutkaniu objavovať stále nové zákonitosti materiálneho sveta; jeho idey prehlbovali iní a tí, pravda, potom zberali vavríny patriace Hookeovi.

Ako z nespravodlivej rozprávky nám pripadne tiež finančné ocenenie práce kurátora Hookea: akoby Hooke patril k dnešnej "generácii praktikum", ako sa v dnešnom Nemecku nazýva dospievajúca a práve dospelá mládež, ktorá sa nemôže materiálne postaviť na vlastné nohy serióznou prácou, lebo súčasný hospodársky systém údajne nemá na ich zaplatenie finančné prostriedky; a tak ich podniky zamestnávajú ako neplatených praktikantov. Rozprávkovo vysoké platy managerov a iných "nadzirateľov", ktorí dozerajú na vykorisťovanie pracovnej sily mladých, vyčerpávajú zdroje na ich ocenenie... Robert Hooke bol v roku 1662 síce menovaný do funkcie kurátora Spoločnosti, ale nebolo ho zatiaľ z čoho zaplatiť; až od roku 1664 mu bolo vyplácaných 80 libier na rok. Krátko na to bol Spoločnosťou poverený funkciou prednášateľa mechaniky, ale o výšku za to priznaného ročného platu 50 libier mu skrátili plat kurátora experimentov. Takže mal zas len ročný príjem 80 libier; zato mu však bol post kurátora udelený doživotne...

V roku 1665 bol Hooke menovaný profesorom geometrie na Gresham College v Londýne. Kolorit doby, pre nás v mnohom silne nezvyklý, vynikne pri oboznámení sa s podmienkami profesúry: Hooke bol povinný dať jednu prednášku týždenne, a síce v latinčine a potom, opakovane, v angličtine. Musel sa zaviazať zostať starým mládencom; gazdiná pre domácnosť mu však bola povolená... V tom roku dosiahol Hooke konečne i svetový ohlas, keď vydal svoju knihu *Micrographia*, ktorá obsahovala doposiaľ nezhliadnuté obrázky mikrosveta, dosiahnuté mravčou prácou s mikroskopom – pozorovaním živočíšneho, rastlinného a minerálneho sveta. Kniha obsahuje celý rad fundamentálnych biologických objavov. Aj to vie dnes málokto, že pojem *cell = bunka* pochádza práve od Hookea! Nezabudnime však pripomenúť, že pozorovania pre svoje dielo *Micrographia* vykonal Hooke pomocou vlastnoručne konštruovaného mikroskopu, ktorý bol v tej dobe najsilnejším mikroskopom vôbec: zväčšoval 30krát.

Hooke vynašiel kužeľové kyvadlo a bol prvý, kto zostavil gregoriánsky odrazový teleskop. Vykonal rad významných astronomických pozorovaní. Dokázal napr., že Jupiter sa otáča okolo vlastnej osi – pozorovaním pohybu jeho škvŕn. Tento úspech ho podnietil k zostrojeniu helioskopu, aby mohol dokázať aj rotáciu slnka. Pozoroval Mars a celý rad komét a položil rad závažných otázok, napr. prečo je chvost kométy odvrátený od slnka, a keď ozaj kométy horia, prečo horia neobmedzene a bez kyslíka. V roku 1666 ukázal, že gravitáciu možno merať pomocou kyvadla.

Hooke sa dlhodobo zaoberal fenoménom zemetrasenia a pohybov zemskej kôry. Bol to on, kto poukázal na to, že fosílie z pravekých morí sa nachádzajú na vrcholoch veľhôr nie ako pozostatky biblickej potopy, ale v dôsledku horotvornej činnosti, prebiehajúcej neprestajne v zemskej kôre.

Ako profesor geometrie bol Hooke poverený i funkciou *City Surveyor*. Ohúri nás správa, že sa v tejto funkcii vypracoval i na kompetentného architekta a svoje schopnosti zúročil napr. i účasťou na obnove Londýna po Veľkom požiari, ktorý ho zničil v roku 1666.

Keď *Newton* publikoval v roku 1672 svoju *teóriu svetla a farieb*, Hooke pobúrene poukázal na to, že čo bolo na Newtonovej teórii správne, boli ulúpené Hookeove idey, a čo bolo nesprávne, boli vlastné idey Newtona. Dlhodobý prioritný spor medzi týmito dvomi géniami sa začal (pozri kap. 4). Hooke vyčítal Newtonovi napr. i prevzatie jeho fundamentálnych myšlienok o gravitácii. Newton, napádaný Hookeom možno neprimerane vehementne, reagoval tak, že zo svojich prác odkazy na Hookea celkom vypustil.

### **3 HOOKEOV ZÁKON**

Pre inžinierov je *Hookeov zákon* o vzťahu medzi silami pôsobiacimi na pružné pevné teleso a jeho pretvorením naprosto fundamentálnym poznatkom, a možno i preto sa mu dnes neprikladá význam, aký ozaj pre mechaniku má. Je však fakt, že stojí na samom začiatku teórie pružnosti, i na "konci" dlhého vývoja mechaniky; to ukážeme v tejto kapitole.

Uvedomme si, akú *kolumbovskú kvalitu* Hookeov zákon má! Pre pevné predmety, ktoré nás obklopujú, používame resp. vytvárame spravidla tuhé hmoty, kde púhym okom nepozorujeme buď žiadnu deformáciu, alebo, keď sa jedná o hmoty výrazne plastického správania, nie sme schopní koreláciu medzi veľkosťou sily a ňou vyvolaným pretvorením jednoducho vyjadriť. V každom prípade to bol stav (ne)poznania v Hookeovej dobe! Vďaka experimentom s oceľovými pružinami a svojej schopnosti analýzy a syntézy dokázal Hooke túto koreláciu pochopiť a formulovať. Pravda, základný "jednorozmerný" vzťah je v matematickej forme jednoduchý:

$$\boldsymbol{\sigma} = \boldsymbol{E} \boldsymbol{\varepsilon} \quad \text{resp.} \quad \boldsymbol{\varepsilon} = \boldsymbol{\sigma} / \boldsymbol{E} \tag{1}$$

Hooke ho formuloval verbálne, originálny tvar je teda skôr druhý vzťah v (1): "*Pretvorenie* telesa *je priamo úmerné sile naňho pôsobiacej a nepriamo úmerné konštante materiálu*". A možno práve teraz si uvedomíme Hookeovu vedeckú smelosť: zaviedol "do hry" akúsi materiálovú konštantu, o ktorej doposiaľ nikto nehovoril. Potvrdzuje sa znova, že slovo je nositeľom myšlienky, a čo sa nevysloví, nejestvuje! Hooke ako skvelý experimentátor však bol schopný vyšetriť hodnotu "svojej" konštanty E nielen pre oceľ pružín ale i pre iné materiály. Matematická teória pružnosti Hookeov zákon (1) vďačne (a lačne) prijala a od toho momentu sa mohla búrlivo rozvíjať. Samotný Hookeov zákon sa zo svojej elementárnej formulácie (1) "vypracoval" až na tenzorový vzťah [5]:

$$\boldsymbol{\sigma}_{ij} = \boldsymbol{E}_{ijkl} \, \boldsymbol{\varepsilon}_{kl} \tag{2}$$

V (2) je  $E_{ijkl}$  tenzor štvrtého rádu (inžinieri si pod ním predstavujú bežne štvorcovú maticu), a  $\sigma_{ij}$ ,  $\varepsilon_{kl}$  sú tenzor napätia resp. pretvorenia, obidva druhého rádu (v inžinierskych publikáciách písané ako matice-vektory). Tu už nie je  $E_{ijkl}$  prostá Hookeova konštanta materiálu, ale útvar o 81 zložkách. Doplňujúcimi úvahami o symetrii sa však počet týchto elastických koeficientov dá znížiť až na 21 nezávislých veličín vo všeobecnom elastickom telese. Vieme, že ďalšími obmedzeniami sa ich počet (nezávislých), ďalej zníži, až napríklad na dve konštanty E a  $\mu$  – Hookeovu a Poissonovu – pre rovinný prípad izotropie.

Pre ďalšie formy Hookeovho zákona – pre rôzne špecializované kontinuá – odkazujeme na bohatú česko-slovenskú literatúru o stavebnej resp. strojnej mechanike a tiež napr. teoretickú prácu o tenzorovom počte [5]. Statici však môžu poukázať na to, že je to síce fundamentálny poznatok, ale predsa len patriaci skôr do teórie pružnosti, ako do každodennej statiky. Uvedomme si však, že Hookeov zákon v tvare (2) je univerzálny kanonický vzťah mechaniky, ktorý nás sprevádza všade, kde sa riešia modely konštrukcií! Vzťah medzi silami okolitého sveta a deformáciami vyšetrovaného modelu, ktoré sú (niekedy) viditeľným prejavom jeho reakcie, je vlastným predmetom nášho inžinierskeho záujmu. Pravda, analógiou tenzoru  $E_{ijkl}$ elastických konštánt (2) je zovšeobecnený objekt, ktorý sa (v deformačnom variante) nazýva maticou tuhosti, a analógiou tenzorov napätí a deformácie  $\sigma_{ij}$  a  $\varepsilon_{kl}$  (2) sú matice-vektory zovšeobecnených síl a deformácií. Pripomeňme pre úplnosť základnú maticovú rovnicu metódy konečných prvkov v symbolike, zavedenej do čs. terminológie *VI. Kolářom* [6]:

$$\boldsymbol{K}\,\Delta = \boldsymbol{f} \tag{3}$$

Matica tuhostných parametrov K zahŕňa, ako zovšeobecnenia Hookeových elastických koeficientov, okrem vlastností materiálu i geometricko-topologické dáta modelu. Je to teda Hookeov vzťah a my mu svojou každodennou prácou so software Nemetschek SCIA vzdávame hold!

### 4 ZÁVER

Robert Hooke zomrel 3. marca 1703 vo veku 67 rokov v Londýne. Pripomíname si teda 305. výročie jeho úmrtia. Pri zrode rozhodnutia obohatiť program a zborník konferencie "Modelovanie stavebných konštrukcií" o seriál článkov o osobnostiach našej vedy nehral aspekt zladenia publikácií s ich jubileami explicitne vyslovenú rolu. Na druhej strane však taká "šťastná" koincidencia iste prispeje aktuálnosti spomienky. V prvých dvoch príspevkoch [1], [2] sa podarilo "trafiť" trojstoročné resp. okrúhle 240. výročie narodenia dvoch najväčších matematikov ľudstva. Možno táto aktivizujúca sila výročí spôsobila, že obidva originálne príspevky [1], [2] boli, v prepracovanom tvare, uverejnené renomovaným česko-slovenským časopisom "Pokroky matematiky, fyziky a astronomie" [7], [8].

V roku 300. výročia úmrtia R. Hookea (3.3.2003) však ešte tradícia týchto publikácií na konferencii "Modelovanie stavebných konštrukcií" založená nebola, a tak prichádza vhod Hookeove jubileum o pol dekády neskôr; všetko sa v živote nedá stihnúť v "pravý čas". Pri úvahách o jubileách si uvedomíme zaujímavý fakt: Hooke odišiel zo života 4 roky pred narodením Eulera. A napriek tomu, že Hooke nemal k dispozícii Eulerov matematický aparát, je právom považovaný za *kľúčovú osobnosť vedeckej revolúcie* [9]. Nie vždy je matematika motorom rozvoja technických vied; skôr sa jedná o vzájomné ovplyvňovanie. Euler by bol zameral svoje bádania iným, menej praktickým smerom, keby nebol pod vplyvom impulzov, ktoré mu dávali objavy rozvíjajúcich sa experimentálnych a technických vedných odvetví.

Univerzálne nadaný a neuveriteľne produktívny Hooke zanechal po sebe hlbokú stopu vo vede. Prečo bol teda temer zabudnutý? Nebyť Hookeovho zákona, nevedela by dnes širšia verejnosť možno vôbec nič o jeho existencii. Nezachoval sa ani jeden jeho obraz, o ktorého autentičnosti sa nepochybuje. Napr. na internete [9] sa uvádza olejomaľba "v štýle Van Dycka", ku ktorej je pripísané, že sa síce dlho vzťahovala na Hookea, dnes sa však prisudzuje skôr Van Helmontovi. O Hookeovi sa traduje, že bol štíhly, zhrbený a nevzhľadný človek, ktorý jednal so svojimi vedeckými kolegami zatrpknuto až cynicky. Zrejme sa Hooke primálo staral o svoju popularitu a zachovanie svojho obrazu pre budúce pokolenia v pestrých farbách. Keď sa ozaj správal k svojmu okoliu neznášanlivo, odhadujeme, čo mohla byť vonkajšia príčina! Spomenuli sme v kap. 2, že súčasníkom Hookea bol Isaac Newton, ktorého epochálna práca Principia, ako je uvedené v [2], [8], sa až do publikácie Gaußovej priekopníckej práce Disquisitiones arithmeticae (1801) považovala za najväčší výkon ľudského ducha. A práve o autorstvo dôležitých ideí uverejnených v Principia viedol Hooke s Newtonom prioritný spor. Ako sme naznačili v kap. 2, Newton, šikovnejší publicista a erudovanejší matematik, si zrejme prisvojil Hookeove idey a vydal ich za svoje. Nie je však úmyslom príspevku posudzovať prioritné spory, ani uplynulých storočí, v publikačnej rovine firmy Nemetschek SCIA.

Nemetschek SCIA však má k Hookeovi i netechnickú afinitu, ktorá málo prekvapí priaznivcov firmy poznajúcich jej svetovú rozhľadenosť: *Trinity house* (fotografia na obr. 1), v ktorom R. Hooke strávil posledné roky života, sa dostal v posledných rokoch do vlastníctva pani *Hélène Rammantovej*, dcéry prezidenta Nemetschek SCIA, *Dr. Jean Pierre Rammanta*, ktorá v dome žije a tak – povedané na záver príspevku mierne vzletne – oživuje každým dňom odkaz Roberta Hookea, ktorý svojím snažením napĺňajú kolektív a užívatelia software Nemetschek SCIA.



Obr.1 – Priečelie historického domu Trinity House v Londýne (foto: Hélène Rammant)

### LITERATÚRA

- Hobst, Ed.: Leonhard Euler otec stavebnej mechaniky. In: zborník 6. seminára "Modelovanie stavebných konštrukcií 2006, Tatranská Štrba, hotel Meander, 12.-13.10.2006, SCIA SK s. r. o., Žilina 2006 (str. 1-8)
- [2] Hobst, Ed. Hobstová, M.: Carl Friedrich Gauss zakladateľ modernej matematiky. In: zborník 7. seminára "Modelovanie stavebných konštrukcií 2007, Tatranská Štrba, hotel Meander, 4.-5.10.2007, SCIA SK s. r. o., Žilina 2007 (str. 1-10)
- [3] O'Connor, J. J. Robertson, E. F.: *Robert Hooke*, http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/~history/printonly/hooke.html
- [4] Timoshenko, S.: *History of Strength of Materials*, Dover Publications Inc., New York 1983 (str. 16-20)
- [5] Brdička, M. Samek, L. Sopko, B.: *Mechanika kontinua*, Academia, Praha 2000 (str. 179)
- [6] Kolář, Vl. a kol.: Principy a praxe metody konečných prvků, Computer Press 1997, Praha 1997 (str. 23)
- [7] Hobst, Ed. Hobstová, M.: 300. výročie narodenia Leonharda Eulera.
   In: "Pokroky matematiky, fyziky a astronomie" (2007/2), Jednota českých a slovenských matematikov a fyzikov, Praha 2007 (str. 89-99)
- [8] Hobst, Ed. Hobstová, M.: Carl Friedrich Gauss zakladateľ modernej matematiky. In: "Pokroky matematiky, fyziky a astronomie" (2007/4), Jednota českých a slovenských matematikov a fyzikov, Praha 2007 (str. 296-307)
- [9] Wikipedia: *Robert Hooke*, http://fr.wikipedia.org/wiki/robert\_hooke, http://nl.wikipedia.org/wiki/robert\_hooke, http://de.wikipedia.org/wiki/robert\_hooke

### NOVINKY V PROGRAMU SCIA ENGINEER 2008.0 A 2008.1

### Ing. Radim Blažek

SCIA CZ, Thákurova 3, 160 00 Praha 6

### 1 ÚVOD

Od semináře Modelovanie 2007 prošel program SCIA ESA PT mnohými změnami. Jednou ze zásadních změn byla změna jména na Scia Engineer. K této změně došlo společně s přejmenováním mateřské firmy na Nemetschek Scia. V tomto období byly do prodeje uvolněny verze 2008.0 a nyní i verze zaměřená na vylepšení stávajících modulů 2008.1.

Vzhledem k omezenému prostoru sborníku jsou v tomto příspěvku popsány pouze některé nové moduly a vybraná vylepšení. Popisy modulů, kterých se týkají samostatné příspěvky semináře Modelovanie (Interoperabilita, Allplan, posudky betonových konstrukcí, apod.), byly vynechány.

## 2 ÚPRAVY UŽIVATELSKÉHO ROZHRANÍ

Základní uživatelské rozhraní bylo ve verzí 2008.0 a 2008.1 rozšířeno o množství drobnějších či větších úprav, ze kterých vybíráme pouze zásadnější vylepšení.

#### 2.1 Přizpůsobení nástrojových lišt:

- Změna tvaru nástrojového panelu: každému plovoucímu nástrojovému panelu může být změněn jeho tvar jednoduše tažením rohu panelu pomocí myši.
- Skrytí tlačítek na nástrojovém panelu: uživatel může skrýt jakékoliv tlačítko na nástrojovém panelu.



- Dialog "Upravit": dialog "Upravit" je použit pro přizpůsobení existujících nástrojových panelů a pro zadání uživatelsky definovaných panelů.
- Záložka "Příkazy": tato záložka nabízí seznam dostupných nástrojových panelů a tlačítek funkcí. Když je tato záložka aktivní, potom může uživatel jednoduše přetahovat vybraná tlačítka na nástrojové panely nebo je naopak z panelů odebírat.
- Záložka "Nástrojové panely":
  - - zobrazovat nebo skrývat existující nástrojové panely,
  - - uvést panel do původního nastavení,
  - vytvořit nový panel,
  - - vymazat nebo přejmenovat uživatelem definovaný panel.

#### 2.2 Režim výběru podle viditelnosti

Režim výběru podle viditelnosti. Při standardních výběrech prvků uživatel vybírá jejich hrany. Tento způsob výběru může být nejednoznačný při výběru prvků, jejichž hrany se v průmětu do roviny obrazovky kryjí. Je-li aktivován výběr podle viditelnosti, potom uživatel vybírá kurzorem prvek, který leží nejblíže v prostorovém promítání. Tímto je vyloučen nechtěný výběr prvků v zákrytu. Výběr podle viditelnosti je dostupný pouze v rendrovaném režimu.



### 3 MĚŘÍTKA

Ve verzi Scia Engineer 2008.1 bylo rozšířena funkcionalita Měřítek a jejich nastavení. Měřítka umožňují nastavit optimální velikosti značek zadaných dat (podpory, zatížení, klouby, apod.) a převýšení průběhů výsledků, tak aby obrázky byly přehledné.

- Přídavná data: uživatel může nastavit různá měřítka pro různé typy přídavných dat. Některé příklady jsou ukázány na obrázku. Např. různá měřítka pro liniové podpory a pro bodovou podporu dovolují zvýraznit bodové podepření. Jednotlivá měřítka mohou být nastavována pomocí Správce měřítek. V tomto správci si uživatel může uložit více předdefinovaných sad a později se mezi nimi rychle přepínat. Přednastavená měřítka se dají přenášet i mezi projekty.
- Výsledky: stejná možnost jako pro přídavná data je dostupná pro výsledky. Pro jednotlivé typy výsledků je možné nastavit různá měřítka.

Měřítka			l	23
🎜 🤮 🗶 📸 🔛 🕰	£	: 🗃 🖬 🛛 Všechny	*	8
Aktuální	J	méno	Aktuální	
, incodenti	Ξ	Data		
		Typ měřítka	Automatický poměr	-
		Násobitel	1	
	E	Zatížení		
		Bodová zatížení [kN]	1,00	
		Liniová zatížení [kN/m]	1,50	
		Plošná zatížení [kN/m^2]	2,00	
		Teplota [K]	10,00	
		Posun [m]	10,000	
		Hmoty [kg]	1000,00	
		Uživatelem definovaná přídavn	1	
	Ξ	Výsledek		
		Typ měřítka	Automatický poměr	▼ E
		Násobitel	1	
		Reakce [kN]	5,00	
		Deformace [1:x]	2000	
		Vnitřní síly [kN]	5,00	
		Napětí [MPa]	20,0	
		Kontaktní napětí [MPa]	20,0	
		Výsledky jednotkového posudku	1	
		Ostatní výsledky	10	
		Symboly		
		Typ měřítka	Velikost značky	
		Násobitel	1	
		Bodové symboly [m]	0,300	
		Liniové symboly [m]	0,300	
		Plošné symboly [m]	0,300	
		Symbol uzlu konstrukce [m]	0,020	-
Nový Vložit Opravit		Smazat	Z	Zavřít

Typy měřítek:

- Velikost značky: schematické zobrazení značek, velikost je určena v délkových jednotkách a nezohledňuje velikost skutečné hodnoty (např. velikost zatížení),
- **Skutečný poměr:** velikosti značek a průběhů výsledků zohledňují velikosti hodnot (např. velikost zatížení), měřítka nejsou automaticky přepočítávána, tímto je zaručeno, že uživatel z grafického znázornění odhadne velikosti hodnot,
- Automatické měřítko: uživatel může využít automatického přepočítávání měřítek, jsou-li stávající měřítka nevhodná (zobrazené značky jsou příliš malé či velké). Měřítka jsou přepočítána při každé změně velikosti hodnot tak, aby značky a grafy byly vykresleny "rozumně" na zobrazenou plochu.

### 4 MODELOVÁNÍ

#### 4.1 Free form modeler

Scia Modeller je nástroj pro snadné modelování objemových těles a jeho primární použití je ve stavebnictví. Uživatel může využít výhod plného 3D modelování včetně zadávání v jakémkoli směru a jakékoli rovině v prostoru a rendrovaného a průhledného zobrazení upravovaných entit. Scia Modeller umí pracovat s tělesy tvořenými nejen přímkami a rovinnými plochami, ale geometrie těles může být obecně zakřivená. Všechny definiční křivky lze snadno vytvořit myší a upravovat pomocí technologie drag-and-drop. Modelování, založené na zadání základních těles a jejich úpravě pomocí booleovských operací, je rychlé a uživatelsky příjemné a umožňuje vytvářet téměř libovolné tvary.

Scia Modeller kombinuje obecná tělesa s typickými stavebními prvky jako nosník, sloup, deska, stěna apod. a umožňuje převod těchto stavebních prvků na obecná tělesa a naopak. Tato technologie dovoluje uživateli snadno definovat, které entity mají být uvažovány ve výpočtu a které jsou "pouze" pro kreslení.

• Základní tělesa: Základní tělesa lze vytvářet tažením (translací) nebo rotací definovaného "řídícího" tvaru.



 3D booleovské operace: Booleovské operace jsou standardním nástrojem pro efektivní modelování prostorových útvarů. Program nabízí všechny běžné operace: sjednocení, průnik, rozdíl, doplněk. Booleovské operace jsou podporovány také při importu z formátů IFC, DWG a Allplan NOI pro tělesa definována prostřednictvím booleovské operace (to samé platí při exportu do těchto formátů).



Volné modelování: program nabízí sadu funkcí pro přemístění definičních vrcholů těles při zachování typu definiční křivky. To může být v některých případech limitující, zejména pokud uživatel očekává, že např. funkce "roztáhnout" aplikovaná na válec s kruhovou podstavou vytvoří eliptické těleso. Proto je program vybaven také možností diskretizovat zakřivené plochy (generace sítě prvků na plochách a površích těles). Uživatel pak může na vygenerované uzly aplikovat libovolnou funkci na geometrické manipulace. Poměrně efektivní způsob modelování se dosáhne použitím funkce na posun po sinusoidě, která přesune vybrané vrcholy do lineárního nebo sinusovitého tvaru s definovaným akčním poloměrem.





#### 4.2 Kontrola kolizí

Scia Modeller obsahuje také efektivní nástroj na kontrolu kolizí mezi tělesy. Kontrolu kolizí lze provádět pro obecná tělesa a konstrukční prvky (nosníky, sloupy, desky atd.). V kombinaci s možností importovat objemová tělesa z formátů DWG/DXF a IFC (Brep) je možné program využít jako efektivní externí nástroj na kontrolu geometrie.



#### 4.3 Automatický převod obecných těles na konstrukční prvky

Scia Engineer 2008.0 přináší zcela nový nástroj umožňující převod obecných těles na výpočtové 1D a 2D prvky. Obecná tělesa mohou vzniknout načtením formátů DWG, DXF, IFC, VRML nebo mohou být vytvořena přímo v programu Scia Engineer. Funkce"Member recognizer" automaticky rozpozná prutové i plošné prvky. Systém může pracovat ve zcela automatickém režimu, ve kterém se sám rozhoduje, jaký typ prvku bude z tělesa vytvořen, nebo může uživatel postupovat krok za krokem a sám definovat, která tělesa budou převedena na pruty a která na plošné prvky.

Při převodu obecných těles na výpočtové prvky jsou rozpoznány prvky: plnostěnné průřezy, průřezy s otvory, obdélníkové průřezy, přímé i zakřivené prismatické pruty, přímé i zakřivené pruty s proměnným průřezem, rovinné plochy, otvory v rovinný plochách a obloukové stěny.



#### 4.4 Filtr pro knihovnu průřezů (esa.00)

Protože počet ocelových průřezů od různých výrobců a pro různé národní norma nabízených v programu neustále roste, byl do knihovny průřezů přidán filtr, kde si uživatel může zvolit typy průřezů odpovídajících dané lokalitě.



Uživatelský seznam jmen nebo rozměrů průřezů pro optimalizaci průřezu při návrhu prutových prvků zůstává beze změny.

### **5 DOKUMENT**

Scia Dokument byl vylepšen o následují funkce:

- Generátor automatických jmen obrázků: při vytváření obrázků a jejich ukládání do Dokumentu byl uživatel nucen vždy zadat jeho popis. Scia Engineer 2008.1 nabízí uživateli název obrázku, který se skládá z jeho obsahu, např. jména zatěžovacího stavu či kombinace, nebo typu zobrazených výsledků.
- Kopírování obrázků z Dokumentu do schránky: obrázky zařazené do Dokumentu je možné vybrat a kopírovat do schránky k dalšímu použití v jiných programech. Důležité je, že i obrázky generované pomocí vlastnosti ChapterMaker obrázky vložené do dokumentu z Galerie obrázků lze kopírovat do schránky.
- Otočení hlavičky tabulky: novou funkcionalitou je možnost otočení hlavičky tabulky o 90 stupňů. Tímto je možné zúžit jednotlivé sloupce tabulky a tím snížit požadavky na šířku stránky.
- Zobrazení parametrů: vlastnosti definované pomocí parametrů mohou být nyní prezentovány v tabulkách jmény parametrů (původní možnost) nebo jejich skutečnými hodnotami.
- Export obrázků ve formátu Adobe 3D: novinkou verze 2008.0 je možnost prostorové obrázky vložené v dokumentu ukládat do formátu Adobe PDF také jako 3D (Adobe 3D). 3D obrázky uložené v PDF souboru lze ve standardním prohlížeči Adobe Acrobat Reader (verze 8.0 a vyšší) natáčet, přibližovat či oddalovat detaily a dokonce také měnit způsob zobrazení (odebrání skrytých hran. nastavení průhlednosti apod.). Tato funkce je součástí modulu "Nástroje produktivity".



#### VOLNÁ ZATÍŽENÍ 6

"Volná zatížení" jsou mocným nástrojem pro zatěžování rovinných i zakřivených 2D prvků, jako jsou stěny, desky a skořepiny. Definice volných zatížení se skládá ze zadání jejich geometrie, která je nezávislá na geometrii zatěžovaných prvků, směru a intenzitě zatížení a seznamu zatížených prvků. Ve své podstatě jsou volná zatížení generátorem zatížení, jelikož jedna instance volného zatížení může zatěžovat více 2D prvků.

#### 6.1 Zadané zatížení / generované zatížení

Zadání volných zatížení je poměrně jednoduché. Scia Engineer 2008.0 ovšem neposkytu jednoduchý a intuitivní nástroj pro zobrazení skutečných zatížení na 2D prvcích. Scia Engineer 2008.1 zavádí možnost generovat zatížení přímo na 2D prvky a zobrazovat je obdobně jako standardní plošná zatížení. Generovaná volná zatížení jsou zobrazována stejným stylem jako ostatní zatížení generovaná jinými generátory zatížení. Generovaná zatížení jsou kreslena rozdílnou barvou od zadaných zatížení a jejich vlastnosti nejsou dostupné k editování.

Uživatel takto může snadno zkontrolovat, zda zadal volná zatížení správně či správně zadal výběr zatížených 2D prvků. Volná zatížení, která se nepromítají na žádný 2D prvek jsou zvýrazněna, aby byl uživatel varován, že tato zatížení neovlivní model.

Příklady zobrazení volných zatížení a generovaných zatížení:





Generované zatížení



Generované zatížení





Jedno zadání volného zatížení může ovlivnit více 2D prvků

Volné zatížení na kopuli

#### 6.2 Generovaná zatížení v dokumentu

Vedlejším efektem generování "skutečných zatížení" z volných zatížení je i možnost tisku těchto zatížení v dokumentu. Obě možnosti jsou nyní k dispozici.

#### 6.3 Vylepšení definice platnosti volných zatížení

Průmět volných zatížení je vždy prováděn v jejich lokální ose Z. Uživatel může ovlivnit, které 2D prvky jsou volným zatížením zatíženy, pomocí zadání oboru platnosti. Platnost volných zatížení byla rozšířena o:

- "Z=0": pouze 2D prvky ležící v rovině volného zatížení jsou skutečně zatíženy,
- "Z>=0": 2D prvky ležící v rovině volného zatížení a nad ní jsou zatíženy,
- "Z<=0": 2D prvky ležící v rovině volného zatížení a pod ní jsou zatíženy.

Dříve definované obory platnosti jsou zachovány (všechny prvky, Z>0, Z<0, Z úroveň "od – do").

### 7 VÝΡΟČΤΥ

#### 7.1 Dvoukroková analýza

K dispozici je nový typ fázového výpočtu: dvoukroková analýza. Cílem je provést výpočet, který startuje s počátečními podmínkami nastavenými předchozím výpočtem. Uživatel má k dispozici různé typy:

- (A) Stabilitní výpočet s počátečními podmínkami danými nelineárním výpočtem. Stabilitní výpočet je díky tomu proveden se zohledněním odstraněných (nepůsobících) prvků, podpor, počátečního napětí a deformované sítě konečných prvků.
- (B) modální výpočet s počátečními podmínkami danými nelineárním výpočtem. Výpočet vlastních tvarů je díky tomu proveden se zohledněním odstraněných (nepůsobících) prvků, podpor, počátečního napětí a deformované sítě konečných prvků.
- (C) Součet výsledku nelineárního a lineárního výpočtu. Například výsledky odstraněného zavětrování se sečtou s výsledky výpočtu zemětřesení.

#### 7.2 Stěnové prvky přenášející pouze tlak

Scia Engineer 2008 zavádí nový typ prvku: plošný stěnový prvek, který nepřenáší žádný tah. Tyto prvky se zadávají jako běžné plošné prvky a je jim přiřazeno nelineární chování vyloučení tahu. Během iteračního výpočtu řešič takové prvky vylučuje z řešení a konverguje ke konečnému řešení bez jejich přítomnosti.

#### 7.3 Ortotropie plošných prvků

Ortotropní vlastnosti plošných prvků bylo možné zadat již v předchozích verzích. Bylo ovšem nutné zadávat parametry D11 až d33 (popis viz Uživatelský manuál). Verze 2008.0 přináší několik jednouchých způsobů výpočtů těchto parametrů. Jednotlivé sady parametrů jsou uloženy v knihovně ortotropních vlastností a u plošných prvků jsou zadány pouze odkazy do knihovny.



Typy výpočtů parametrů ortotropie:

- Standard: ruční zadání parametrů ortotropie.
- Dvě výšky: uživatel zadá dvě účinné tloušťky desky ve dvou na sebe kolmých • směrech. Typické použití je pro filigránové desky, kde jsou panely spojeny s dobetonovanou deskou výztuží. Nicméně vlastnosti spřažené desky jsou díky kloubům mezi panely v obou směrech různé.

- Jednosměrná deska: jednosměrně pnutá deska. Deska je opět složena z panelů a dobetonávky. Horní vrstva betonu ovšem nespolupůsobí s panely.
- **Deska s žebry**: výpočet náhradní tuhosti desky vyztužené žebry v jednom směru. Žebra jsou zahrnuta do tuhosti desky a tudíž nejsou použity při výpočtu celé konstrukce.
- **Rošt:** jedná se o obdobu předchozího typy. Žebra jsou zadány ve dvou na sobě kolmých směrech.

### 8 VÝSLEDKY

#### 8.1 Průměrovací pásy pro napětí

Průměrovací pásy byly k dispozici pro vnitřní síly. Tento nástroj je nyní možné použít i u napětí.



#### 8.2 Jméno plošného prvku u výsledků

V tabulce výsledků se nyní zobrazuje jméno plošného prvku. Díky tomu je přesně vidět, jaké desce je umístěn konečný prvek s vytištěnou příslušnou výsledkovou veličinou.

2D men	2D member - Internal forces						
Linear calculation, Extreme : Local Selection : All Combinations : CO1 Basic ma <u>gnitudes, In n</u> odes, avg. on macro.							
Case	Member	elem	mx [kNm/m]	my [kNm/m]	mxy [kNm/m]	vx [kN/m]	vy [kNm]
CO1	S1	1	11,94	11,93	-2,99	-33,48	-33,61
CO1	S1	10	1,77	1,53	1,76	18,25	17,96
CO1	S1	91	11,94	11,93	6,26	-33,48	67,03
CO1	S1	100	1,77	1,53	-1,28	18,25	-8,78
CO1	S2	101	-1,56	-1,61	1,37	13,44	9,03
CO1	S2	101	-1,15	-1,15	1,88	18,18	18,29
CO1	S2	110	6,98	6,97	3,86	38,77	-12,70
CO1	S2	191	-1,56	-1,61	-1,88	13,44	-18,29
CO1	S2	200	6,98	6,97	-1,21	38,77	38,80

#### 8.3 Tlačítka pro rychlé zobrazení výsledků na deskách

Stejně jako u nosníků, tlačítka pro rychlé zobrazení výsledků jsou nyní k dispozici i pro plošné prvky.

#### 8.4 Lokální extrémy na plošných deskách

Pro řezy na plochách je nyní možno použít vizualizaci s použitím lokálních extrémů. Zobrazeny jsou hodnoty maxima a minima pro dílčí části řezu.



#### 8.5 Podrobné výsledky na deskách na konečných prvcích a v jejich uzlech

Výsledky na konečných prvcích a v jejich uzlech lze nyní zobrazit přímo jednoduchým klepnutím na uzel konečného prvku v příslušné desce nebo na těžišťový uzel konečného prvku.

#### 8.6 Společné deformace pro nosníky a desky

Byl připraven nový servis, který zobrazuje deformace na prutových a plošných prvcích současně. Dříve se deformace na prutových a plošných prvcích zobrazovaly odděleně. Nyní je možno je ukázat na jednom obrázku.



### 9 SOILIN

Modul Soilin byl doplněn o výpočet a zobrazení sedání ve vybraných bodech.

 Sedání: ve větvi výsledkového servisu Podloží - Další data může uživatel zobrazit sedání. V náhledu je sedání zobrazeno pro každý konečný prvek.



 Generace vrcholů: pokud uživatel klepne na tlačítko Graf napětí v zemině v servisu Soilin - další data, Scia Engineer vygeneruje vrcholy (body v podloží). Tyto vrcholy se generují v těžištích plošných konečných prvků. Vrcholy se generují pouze u těch plošných prvků, které mají definovány podpory typu Soilin. Po vygenerování vrcholů vyzve program uživatele k výběru vrcholu. Pro vybraný vrcholu je vykreslen diagram napětí v zemině.



• Tvorba kapitol v dokumentu – ChapterMaker: diagram napětí v zemině může být přenesen do dokumentu programu Scia Engineer. V kombinaci s tabulkami sond lze s výhodou použít vlastnost zvanou ChapterMaker.

	Project	-
	Part	-
Scia	Description	-
	Author	-

#### 1. Borehole profile

Ι

#### 1.1. Borehole profile - BH2

Type Name	Name	Coord X [m]	Coord Y [m]
Borehole profile	BH2	4,500	3,500

#### 1.1.1. Subsoil - Soil Stress Diagram



Document	×
DOC-Default	<b>~</b>
Default Borehole profile (Borehole profile Subsoil - Soil Stress Diagram	s)
New Close	

#### 1.2. Borehole profile - BH5

Type Name	Name	Coord X [m]	Coord Y [m]
Borehole profile	BH5	2,000	1,000

#### 1.2.1. Subsoil - Soil Stress Diagram



### 10 EXTERNÍ POSUDKY POMOCÍ MS EXCEL

S tímto kompletně novým modulem může uživatel přímo z prostředí Scia Engineer využívat možností zadávat data nebo provádět výpočty prutových prvků ve svých souborech programu MS Excel. Výsledek je podobný současným pokročilým posudkům v programu Scia Engineer a je možné jej vizualizovat v grafickém prostředí Scia Engineer a v dokumentu.

Spousta inženýrů stále provádí různé (i složité) výpočty v aplikaci MS Excel. Smyslem tohoto modulu je umožnit provádění takových výpočtů uvnitř programu Scia Engineer. Uživatel je schopen poslat zadaná data a případné mezivýsledky ze Scia Engineer (vnitřní síly, rozměry atd.) do aplikace MS Excel a získat zpět výsledky výpočtů provedených v MS Excel, a to v grafické podobě

ve formě diagramů na prutech nebo ve formě tabulek v dokumentu. Kopie části dokumentu aplikace MS Excel může být přidána do dokumentu.

Externí posudek je vytvořen jako přídavná data na prutovém prvku

a obsahuje všechny nezbytné mapovací informace pro definici propojení konkrétní buňky listu aplikace MS Excel. Jakmile je jednou propojení na soubor aplikace MS Excel definováno, lze jej uložit v knihovně a použít u budoucích projektů.

### 11 PROLAMOVANÉ NOSNÍKY ENV 1993-1-1: 1992/A2

Cílem tohoto nástroje je usnadnit návrh prolamovaných nosníků podle zásad Eurokódů. Díky integrovanému prostředí nevyžaduje obsluha modulu žádné složité zaškolení. Na druhou stranu však složitost návrhových metod vyžaduje, aby měl uživatel požadované znalosti z daného oboru ocelových konstrukcí. Návrh prolamovaných nosníků je proveden pomocí řešiče ArcelorMittal ACB.



Aplikace je použitelná na prosté nosníky tvořící součást jakékoli větší prostorové konstrukce. Nosníky se vyrábějí z válcovaných I-profilů a mají kruhové otvory. Horní a spodní pás mohou být každý z jiného základního profilu a mohou být i z různých druhů oceli. Scia Engineer obsahuje knihovnu vyráběných průřezů dodanou společností ArcelorMittal.

Vnitřní síly v libovolném prolamovaném nosníku jsou spočteny řešičem Scia Engineer v předem



definovaných řezech na nosníku. Řezy jsou generovány v různých pilířích podél otvorů ve stěně. Tyto vnitřní síly se použijí v posudku prolamovaného nosníku řešičem ArcelorMittal podle EC3 - dodatek N: ENV 1993-1-1: 1992/A2.

## POSÚDENIE PRÚTOVÝCH ŽELEZOBETÓNOVÝCH KONŠTRUKCIÍ PODĽA EN 1992-1-1

### Ing. Pavol Valach, PhD.

SCIA SK, s.r.o., Nám. hrdinov 5, 010 03 Žilina

### 1 ÚVOD

Príspevok zhrňuje novinky v programe SCIA Engineer 2008 v moduloch pre návrh a posúdenie prútových železobetónových konštrukcií. Ide predovšetkým o zmeny vo všeobecných, normovo nezávislých moduloch a o zmeny v norme EN 1992-1-1, na ktorú sa pri vývoji vo firme SCIA kladie veľký dôraz. Vo verzii SCIA Engineer 2008 sa v betóne objavujú tieto významné novinky a zmeny:

- o pomenované položky pre posudky a návrh žb. konštrukcií,
- o definovanie maximálnej hodnoty posudku,
- o nový servis pre vyhodnocovanie prierezových charakteristík žb. prierezov,
- o nové možnosti pre definovanie rezov v prierezoch,
- o definovanie fáz výstavby pre nepredpätý betón pre normu EN 1992-1-1.

### 2 POMENOVANÉ POLOŽKY PRE POSUDKY A NÁVRH ŽB. KONŠTRUKCIÍ

Často sa v praxi stretávame s potrebou vyhodnocovania výsledkov len pre určité položky prierezu, pričom pod pojmom položka si môžeme predstaviť:

- vlákno prierezu (vyhodnotenie tlakového pretvorenia betónu len na spodnej hrane prierezu),
- o časť prierezu (vyhodnotenie dovolených namáhaní len na doske fázovaného prierezu),
- o rez prierezu (vyhodnotenie hlavných ťahov len v určitých rezoch prierezu).

Pre možnosť získania len čiastkových výsledkov na priereze bola v programe vytvorená špeciálna knižnica "Pomenované položky prierezu", v ktorej možno pre jednotlivé typy položiek (vlákno, časť prierezu, rez, škára) definovať názov a popis (obrázok 1).

🗖 Pomenované položky prierezu 🛛 🛛 🔀				
🔎 🦆 🖋 🖬 🔛	💁 🗠 🎒 🎒 🖬 🛛	etko	• 🛛	
Spodné Horne Doska Stojina Rez1	Názov Popis Typ	Spodné Spodné vlákna Vlákno	<b>_</b>	
Nový Vlož Opravít Zmazať Zavrieť				

#### Obr. 1 – Knižnica pomenovaných položiek prierezu.

Pomenovanú položku prierezu daného typu potom možno priradiť k existujúcim položkám prierezu toho istého typu vytvorených programom alebo užívateľom (vlákna, rezy časti prierezu...), pričom k viacerým existujúcim položkám možno priradiť tu istú pomenovanú položku. Pomenované položky možno priradiť pre:

- pomenované vlákna a časti prierezu v dialógu "Prierez" > "Opraviť" > "Opraviť pomenované položky" (obrázok 2),
- pomenované rezy pre databázové prierezy v dialógu "Prierez" > "Opravit" > "Opravit" rezy" (obrázok 13),
- pomenované rezy pre všeobecné prierezy pri vytváraní rezu alebo vo vlastnostiach jednotlivých rezov v Editore všeobecných prierezov (obrázok 14),
- o pomenované škáry v dialógu "Prierez" > "Opraviť" > "Opraviť škáry".



Obr. 2 – Priradenie pomenovaných vlákien a častí prierezu k existujúcim vláknam a častiam prierezu.

V jednotlivých betonárskych servisoch pre posúdenie možno potom posúdiť extrémnu hodnotu pre všetky jestvujúce položky daného typu (napr. posúdenie všetkých vlákien prierezu) alebo len vybrané pomenované položky (napr. posúdenie len spodných vlákien prierezu). Vybrané položky možno posúdiť len v prípade, ak je v danom servise zapnutá voľba "Použiť pomenovanú položku" a zo zoznamu pod ňou je vybraná pomenovaná položka (obrázok 3). Jednotlivé typy pomenovaných položiek možno použiť v nasledovných betonárskych servisoch:

- o pomenované vlákna:
  - o posudok ULS, metóda medzných pretvorení,
  - o posudok dovolených normálových namáhaní betónu,
- o pomenované časti prierezu:
  - o posudok ULS, metóda medzných pretvorení,
  - o posudok dovolených normálových namáhaní betónu (obrázok 4),
  - o posúdenie dovolených hlavných ťahov.
- o pomenované rezy prierezu:
  - o posúdenie dovolených hlavných ťahov.
- o pomenované škáry prierezu:
  - o posudok ULS, metóda medzných pretvorení.



Obr. 3 – Posúdenie vybraných pomenovaných vlákien metódou medzných pretvorení



a) pre pomenovanú časť prierezu Doska

b) pre všetky časti prierezu (celý prierez)

Obr. 4 Posúdenie dovolených namáhaní betónu fázovaného prierezu.

### **3 DEFINOVANIE MAXIMÁLNEJ HODNOTY POSUDKU**

V jednotkových posudkoch v predchádzajúcich verziách ESA PT bola programom vždy automaticky definovaná limitná hodnota posudku rovná 1 (100% využitie). Vo verzii SCIA Engineer 2008 má užívateľ možnosť definovať túto limitnú hodnotu v "Nastavení pre betón" > "Všeobecný" >"Výpočet" (obrázok 5), pričom táto hodnota je použitá vo všetkých betonárskych posudkoch s výnimkou posúdenia konštrukčných zásad.

Počiatočné hodnoty pre návrh	Výpočet			
Všeobecný				
Výpočet	_ Všeobecné			
MSÚ	Počet krokov iterácie		100	
<ul> <li>Interakčný diagram</li> </ul>			1 %	
Śmyk	Presnosť iterácie		/ ~	
MSP	Limitná hodnota pre p	osudok	0.8	
Dotvarovanie	Pre výpočet tubosti je	lovoleného namáhania, pretlač	čenia a posúdenia trblín	
Šírka trhlín	použiť výstuž	použíť výsluž		
Nelineárne výpočty	, , , , , , , , , , , , , , , , , , , ,	V poradí: skutočná As, potre	bná Ás	
Konštrukčné zásady (prúty)		J* pordui, skutocha As, pore		
- Vystužovanie	Posudok vo vybra	aných rezoch		
Háky	📃 🔲 Plocha betónu os	labená betonárskou výstužou		
AMRD	📃 📃 Plocha betónu os	labená predpätou výstužou		
Prierezové charakteristiky	🛛 🗹 Zohľadniť skutoči	nú pozdĺžnu výstuž pri návrhu	(iba nosníky)	
Varovania a chubu	📃 🔲 Posudok krútenia			

Obr. 5 – Možnosť nastavenia limitnej hodnoty pre jednotkový posudok.

Pre väčšiu prehľadnosť a zrozumiteľnosť výsledkov posúdenia, ktoré môže byť do výraznej miery ovplyvnené nastavenou limitnou hodnotou posudku, boli do výstupných tabuliek pridané nové stĺpce (obrázok 6)

- o "Posúdenie<sub>vyp</sub>" je vypočítaná hodnota jednotkového posudku,
- o "Posúdenielim" je zadaná limitná hodnota jednotkového posudku,
- a vytvorené nové chyby (varovania) pre limitnú hodnotu posudku.

- ak "Posúdenie<sub>vyp</sub>" < 1 a "Posúdenie<sub>lim</sub>" < 1 a "Posúdenie<sub>vyp</sub>" > "Posúdenie<sub>lim</sub>", výpočet skončí s chybou (varovaním) 857 "Prierez nevyhovuje kvôli nastavenej limitnej hodnote posudku",
- ak "Posúdenie<sub>vyp</sub>" > 1 a "Posúdenie<sub>lim</sub>" > 1 a "Posúdenie<sub>vyp</sub>" < "Posudenie<sub>lim</sub>", výpočet skončí s chybou (varovaním) 258 "Prierez vyhovuje pre nastavenú limitnú hodnotu posudku".

Posudo	kúnosn	ostiEľ	N 1992-1-1			
Lineárnyv Výber:Vš Zaťažovac Metódain	ýpočet,Ext etko ie stavy : L( terakčnéh	rém : Prú C1 o diagrai	it mu pre vybrané pi	rúty		
Prút	d, [m]	Stav	Posúdenie <sub>výp</sub> [-]	Posúdenie <sub>lm</sub> [-]	Posudok	W/E
B1	0,000	LCI	0,69	0,80	vyhovuje	161
B2	0,000	LCI	0,86	0,80	nevyhovuje	857
B3	0,000	LCI	1,08	0,80	nevyhovuje	735
B4	0,000	LCI	1,44	0,80	nevyhovuje	735
B5	0,000	LCI	3,59	0,80	nevyhovuje	735
Vysvetlenie chýb a varovaní						
161 Výpočetprierez (vykov) je.						
735 Prierez NEVYHOVUJE !!!.						
857 Prierez revykovije kučil rastaverej maximāliej kodrote posidki						

Obr. 6 – Posúdenie prútov s rôznymi vypočítanými hodnotami posudkov.

Čísla 857 alebo 258 môžu byť varovania, chyby alebo sa nemusia vo výstupe vôbec objavovať v závislosti od nastavenie v rolovacom menu "Typ" v "Nastavení pre betón" > "Varovania a chyby" v riadku s popisom daného varovania (chyby), obrázok 7. Okrem toho v záložke "Varovania a chyby" je možné zvoliť si hodnotu jednotkového posúdenia pre rezy prvku, v ktorom nebola nájdená rovnováha a to v novej skupine "Hodnota posudku v rezoch, kde nie je možné vypočítať hodnotu". Táto hodnota posudku môže byť nulová (východzia hodnota) alebo ľubovoľná hodnota nastavená užívateľom (obrázok 8).



Obr. 7 – Možnosti nastavenia v položke Varovania a chyby.



Obr. 8 – Jednotkový posudok metódou medzných pretvorení pre rôzne hodnoty posudku v rezoch, kde nie je možné vypočítať hodnotu.

### 4 NOVÝ SERVIS PRE VYHODNOCOVANIE PRIEREZOVÝCH CHARAKTERISTÍK ŽB. PRIEREZOV

Pre možnosť kontroly prierezových charakteristík, ktoré sú použité v posudkoch nepredpätého aj predpätého betónu bol vytvorený nový servis "Prierezové charakteristiky" v strome "Betón". Priamo v tomto servise možno zvoliť aké prierezové charakteristiky, pre aké komponenty a k akému bodu ich chceme počítať (obrázok 9). Na základe vyššie uvedeného, je tento servis rozdelený na nasledovné základné skupiny parametrov:

- o vypočítané časti prierezu,
- o výpočet charakteristík pre,
- o výpočet charakteristík k.

Vlastnosti	<b>д х</b>
Prierezové charakteristiky EN 1992-1-1 (1)	) 💽 🖬 🏹 /
Názov	Prierezové charakteristiky EN 1992
Víber	Všetko 👻
Typy zaťaženia	Zaťažovacie stavy 💌
Zaťažovacie stavy	LC1 🗾
Filter	Zástupný znak 📃 💌
Tlačiť vysvetlenia chýb a varovaní	
🛛 Nastavenie pre výpočet priere	
Typ prierezových charakteristík	Normál 🗾 💌
🗆 Vypočítané časti prierezu	
Betón	
Výstuž	
Predpínacia výstuž	
🗆 Výpočet charakteristík pre	
Vypočítaný prierez	podľa vybranej kombinácie 🛛 💌
🗆 Výpočet charakteristík k	
Prierezové charakteristiky vztiahnut	k ťažisku prierezu 🗨
Ťažisko	normálny prierez 📃 💌
Hodnoty	Α 🔻
Extrém	Prút 🗾 👻
Nastavenie kresby	
Rez	Všetko 💌

#### Obr. 9 – Parametre v servise pre výpočet prierezových charakteristík.

V programe sú podporované základné dva typy prierezových charakteristík

- o normálne,
- o ideálne prierezové charakteristiky,

a pre každý typ je možno spočítať prierezové charakteristiky zobrazené na obrázku 10.



# Obr. 10 – Charakteristiky, ktoré možno vyhodnotiť v servise prierezové charakteristiky

Pre ideálne charakteristiky prierezu s viacerými fázami a s odlišnou kvalitou betónu je ako referenčný modul pružnosti zvolený modul pružnosti prvej fázy prierezu, pričom možno pre výpočet zvoliť nasledujúci typ modulu pružnosti betónu (obrázok 11)

- o sečnicový modul pružnosti načítaný priamo z knižnice materiálov,
- o dotyčnicový modul pružnosti vypočítaný zo sečnicového modulu pružnosti, ktorý je načítaný priamo z knižnice materiálov. Napríklad pre normu EN 1992-1-1 je dotyčnicový modul vypočítaný ako 1,05 násobok sečnicového modulu pružnosti,
- o dotyčnicový modul pružnosti vypočítaný z pracovného diagramu betónu. Tento modul je vypočítaný ako dotyčnicový modul pružnosti pre napätie  $\sigma = 0$ .

Všetky hore uvedené moduly pružnosti môžu byť vo výpočte prierezových charakteristík tiež prepočítané na efektívny modul pružnosti, ak je v "Nastavení pre betón" > "Prierezové charakteristiky" zapnutá voľba "Efektívny modul pružnosti". Efektívny modul pružnosti je vypočítaný podľa vzťahu:

$$E_{c,eff} = \frac{E_c}{1 + \varphi}$$

 $E_c$ 

je sečnicový resp. dotyčnicový modul pružnosti

 $\varphi$  je súčiniteľ dotvarovania betónu





### 4.1 Skupina Vypočítané časti prierezu

V tejto skupine parametrov je možné zvoliť, ktoré komponenty železobetónového prierezu chceme zohľadniť pri výpočte. Voľba parametrov je závislá od typu prierezových charakteristík (normálne alebo ideálne).

- pre normálne prierezové charakteristiky možno zvoliť len jeden typ komponenty (betón, výstuž, predpätá výstuž), pričom ak je zaškrtnutá komponenta "Betón", tak sa aktivuje ďalšia skupina parametrov "Odčítať od plochy betónu", kde je možné zvoliť nasledovné komponenty pre odčítanie:
  - o výstuž,
  - o predpätá výstuž,
  - o kanáliky dodatočne predpätej výstuže,
- pre ideálne prierezové charakteristiky je vždy zapnutá komponenta betón, pričom možno zvoliť ešte komponenty výstuž alebo predpätá výstuž. Okrem toho je aj vždy aktívna ďalšia skupina parametrov "Odčítať od plochy betónu", kde je možné opätovne zvoliť nasledovné komponenty pre odčítanie:
  - o výstuž
  - o predpätá výstuž
  - o kanáliky dodatočne predpätej výstuže,

Napríklad ideálna prierezová plocha pre komponenty betón a nepredpätá výstuž bude:

- o bez odpočítania výstuže od betónu:  $A_i = A_c + (E_c/E_s) \cdot A_s$
- o s odpočítaním výstuže od betónu:  $A_i = A_c + [(E_c/E_s)-1] \cdot A_s$ 
  - *A<sub>c</sub> je plocha betónového prierezu s modulom pružnosti E<sub>c</sub>*
  - $A_s$  je plocha nepredpätej výstuže s modulom pružnosti  $E_s$

#### Poznámka:

Servis prierezové charakteristiky slúži len na prezentáciu výsledkov, pre zohľadnenie odčítania plochy výstuže z betónového prierezu v návrhu výstuže a v posudkoch je potrebné zaškrtnúť v "Nastavení pre betón" > "Všeobecný" > "Výpočet" voľby (obrázok 5)

- o "Plocha betónu oslabená betonárskou výstužou",
- o "Plocha výstuže oslabená predpätou výstužou".

#### 4.2 Skupina Výpočet charakteristík pre

Táto skupina parametrov definuje časti prierezu, pre ktoré sa budú prierezové charakteristiky počítať. Je veľmi dôležitá najmä pre fázované prierezy a pre fázy výstavby. Možnosti sú nasledovné:

- <u>podľa vybranej kombinácie</u>, kde časť prierezu, ktorý bude zohľadnený vo výpočte závisí od vybranej kombinácie (fázy výstavby) pre výpočet (tabuľka 1),
- o celý prierez, do výpočtu pôjde vždy celý prierez nezávisle na vybranej kombinácii
- <u>definovaný užívateľom</u>, časť prierezu, ktorá pôjde do výpočtu, si môže zvoliť užívateľ v závislosti od fázy prierezu, ktorú zadá číslom do parametra "Číslo fázy". Ak fáza prierezu s daným číslom neexistuje, výpočet neprebehne.

#### Tab. 1 Prierezové charakteristiky vypočítané pre rôzne fázy výstavby.



#### 4.3 Skupina Výpočet charakteristík k

V tejto poslednej skupine je potrebné zadať bod, ku ktorému budú prierezové charakteristiky vztiahnuté (vypočítane). Program ponúka pomerne obsiahlu škálu možnosti pre definovanie tohto bodu:

- <u>k ťažisku prierezu</u>, prierezové charakteristiky sú vztiahnuté k ťažisku celého prierezu, pričom toto ťažisko môže byť vypočítané pre normálny alebo ideálny prierez v závislosti od vybratej voľby v rolovacom menu "Ťažisko",
- <u>k ťažisku fázy prierezu</u>, charakteristiky sú vztiahnuté k ťažisku fázy (časti) prierezu, pričom fáza (časť) prierezu môže byť definovaná (rolovacie menu "Fáza prierezu").
  - podľa vybraného prierezu t.j. do výpočtu pôjde ťažisko časti prierezu, ktorý je definovaný v skupine "Výpočet charakteristík pre" (kapitola 4.2),
  - o definovaná užívateľom t.j. do výpočtu pôjde ťažisko fázy prierezu, ktorú užívateľ zadá číslom do parametra "Číslo fázy". Ak fáza prierezu s daným číslom neexistuje, výpočet neprebehne.
- <u>k vybranému pomenovanému vláknu</u>, prierezové charakteristiky sú vypočítané k bodu so súradnicami pomenovaného vlákna. Pomenované vlákno je možné vybrať v rolovacom menu "Pomenované vlákna". Ak pomenované vlákno obsahuje viac existujúcich vlákien, charakteristiky sú vypočítané k bodu so súradnicami prvého vlákna z daného výberu.
- <u>k bodu</u>, prierezové charakteristiky sú počítané k bodu, ktorého súradnice sú zadané v parametroch "Súradnica y" a "Súradnica z", a sú vztiahnuté k ťažisku celého prierezu.
# 5 NOVÉ MOŽNOSTI PRE DEFINOVANIE REZOV V PRIEREZOCH

Pre lepšie vyhodnotenie hlavných napätí (ťahov) pre predpäté aj nepredpäté železobetónové 1D prvky je často nutné definovať si aj vlastné rezy. V predchádzajúcich verziách programu bolo možné definovať len rezy pre obecné priereze a to v mieste už existujúcich vlákien, čo bolo často veľmi nepraktické. Pre databázové prierezy nebolo možné definovať žiadne užívateľské rezy a hlavné napätia boli vyhodnocované automaticky len v rezoch prechádzajúcich ťažiskom prierezu. Vo verzii SCIA Engineer 2008 bola definícia rezov vylepšená, pričom rezy je možné definovať vo všeobecných prierezoch aj v databázových prierezoch.

#### 5.1 Definovanie rezov v databázových prierezoch

Pre databázové prierezu možno rezy definovať priamo v dialógu pre definovanie prierezu v dialógu "Prierez" > "Opraviť" > "Opraviť rezy" (obrázok 13).



Obr. 13 – Dialóg pre definovanie rezov pre databázové prierezy.

Rezy možno definovať dvoma spôsobmi:

- s použitím referencie na hranu prierezu, kde po výbere hrany prierezu v stĺpci "Referencia(Odkaz)", možno polohu rezu na hrane definovať buď relatívne alebo absolútne.
- bez použitia referencie na hranu prierezu, kde po zvolení voľby "Žiadny" v stĺpci "Referencia(Odkaz)" poloha rezu je definovaná priamo súradnicami v stĺpcoch "Y" a "Z" (hodnoty súradníc sú vztiahnuté k ťažisku prierezu).

Smer rezu v obidvoch prípadoch možno definovať zapnutím voľby (vybratím voľby "Áno") v stĺpcoch "Rez Y" a " Rez Z", pričom v jednom riadku je možne definovať rezy v oboch smeroch. Rez je potom generovaný ako priesečník prierezu s priamkou v smere osi (os Y alebo Z) prechádzajúcej definovaným bodom rezu. Ako bolo už spomínané v kapitole 2, možno taktiež vytvoriť pomenovaný rez, ktorý môže obsahovať jeden rez alebo skupinu rezov. Pomenovaný rez je možné priradiť k existujúcim rezom v stĺpci "Názov rezu". Súradnice rezu je možné taktiež parametrizovať.

#### 5.2 Definovanie rezov vo všeobecných prierezoch

Rezy vo všeobecných prierezoch možno definovať priamo v Editore všeobecného prierezu (Prierez > Opraviť), kde v položke stromu pribudla nová voľba "Pridať rez" (obrázok 14)



Obr. 14 – Dialóg pre definovanie rezov pre všeobecné prierezy

Rezy možno definovať taktiež dvoma spôsobmi, obdobne ako rezy databázových prierezoch:

- s použitím referencie k vláknu prierezu (numerické zadanie), ak v dialógu "Pridanie rezu" zvolíme z rolovacieho menu "Typ" voľbu "Vlákno + odsadenie". Polohu rezu definujeme zvolením referenčného vlákna (výberom z rolovacieho menu "Vlákno") a zadaním absolútnej hodnoty odsadenia od zvoleného vlákna v smere y a z.
- bez použitia referencie k vláknu prierezu (grafické zadanie), kde po zvolení voľby "Bod" v rolovacom menu "Typ" definujeme polohu bodu kliknutím myši do grafického okna.

Smer rezu v obidvoch prípadoch možno definovať zapnutím voľby (vybratím voľby "Áno") v stĺpcoch "Rez Y" a " Rez Z", pričom pre jeden rez je možné definovať obidva smery. Rez je generovaný ako priesečník prierezu s priamkou v smere osi (os Y alebo Z) prechádzajúcej definovaným bodom rezu. Ako bolo už spomínané v kapitole 2, možno taktiež vytvoriť pomenovaný rez, ktorý môže obsahovať jeden rez alebo skupiny rezov. Pomenovaný rez je možné priradiť k existujúcim rezom pomocou parametra "Názov rezu".

Po zadaní rezu možno parametre rezu editovať v strome "Vlastnosti" po vybratí daného rezu v grafickom okne, pričom súradnice rezu je možno parametrizovať.



Obr. 15 – Posúdenie hlavných ťahov pre vybrané rezy prierezu.

### 6 DEFINOVANIE FÁZ VÝSTAVBY PRE NEPREDPÄTÝ BETÓN A NORMU EN 1992-1-1

Vo verzii SCIA Engineer 2008 možno v návrhu výstuže a v posudkoch nepredpätej výstuže zohľadniť:

- o fázy výstavby a fázy prierezu,
- o zmeny materiálových charakteristík v čase (pre TDA analýzu).

Počiatočný stav prierezu je vypočítaný obdobne ako pre predpätý betón, pričom nepredpätá výstuž nie je zohľadnená vo výpočte počiatočného stavu (obrázok 16).

Fision      N [Mi)      report tiel      N [Mi)	počet Zada Počiatočný s	nie vnútomý: tav - prietez	h sil a napà	ы									1
1    29.07    0    275.22    0    0    0    0      2    29.07    0    41.74    0    0    0    0      Polizacióni protrucerie vjetude      Kótovanie je vynesené v smer      1    8 600 (20)    40    256.06    0    15.7    0    0    0    0    15.7    28.6    15.7    28.6    15.7    28.6    15.7    28.6    15.7    28.6    15.7    28.6    15.7    28.6    15.7    28.6    15.7    28.6    15.7    28.6    15.7    28.6    10.2    15.7    28.6    15.7    28.6    15.7    28.6    10.2    15.7    28.6    10.2    15.7    28.6    10.2 <th>Fáza</th> <th>N [N]</th> <th>eps0</th> <th>*1e6</th> <th>My khi[m]</th> <th>rol</th> <th>tY*1e6</th> <th>Mz k</th> <th>Nim]</th> <th>rotZ*1e6</th> <th></th> <th></th> <th></th>	Fáza	N [N]	eps0	*1e6	My khi[m]	rol	tY*1e6	Mz k	Nim]	rotZ*1e6			
Polostadné pretvormie výslude Polostadné pretvormie výslude Polostadné pretvormie výslude Polostadné pretvormie výslude Polostadné pretvormie (*1e-4) Vener 100 2000 00 100 2000 17.6 15.7 15.	1 -2	9.07	0	-	275.22	0		0		)			
Podstadovi pretvorenie výstude Podstadovi pretvorenie výstude <u>Podstadovi pretvorenie výstude</u> <u>Podstadovi pretvorenie výstude</u> <u>Podstadovi pretvorenie (*1e-4)</u> <u>Potočenie = 22.7 *1</u> <u>Potočenie = 22.7 *1 <u>Potočenie = 22.7</u></u></u></u></u></u></u></u></u></u></u></u></u></u></u>	2 25	0.07	0		1.74	0		0	1	1			
Počískočné prehvenie výsluče      Víteľané je vynečené v strete priarký roky pretvorení Potočenie = 22.7 *1;        Počískočné prehvenie výsluče      Víteľané v temer Potočenie = 22.7 *1;        Potosenie - kále      Potosenie - kále        Potosenie - kále      Potosenie - kále							Pre	t∨ore	enie	[*1e-4]			
Index      V (mm)      Z (mm)        1      8 6000 (20)      40      358.05        2      8 6000 (20)      90      498.05        3      8 6000 (20)      40      41.94        4      8 6000 (20)      40      41.94        5      8 6000 (20)      40      41.94        6      9      9      9      9        7      8      9      9      9        8      9      9      9      9        8      9      9      9      9        8      9      9      9      9        9      9      9      9      9        9      9      9      9      9        9      9      9      9      9        9      9      9      9      9      9        9      9      9      9      9      9        9      9      9      9      9      9        9      9      9      9	Počiatočné p	xetvorenie vý	stuže							4			Potočenie = 22.7 *1e-4 /m
1    8	Index	Názov		Y[mm]	Z [r	nm]	l .						17.6
2 B 600C (20) 90 - 368.05 8 B 600C (20) 90 - 41.94 9 B 6 - 0 - 2 28 6 - 0.2 28	1 (B)	600C (25))	-90		-358.06			8			э		15.7
3    8 4000 (20)    90    41.94      8    8000 (20)    90    41.94      9    8000 (20)    90    41.94      9    8000 (20)    90    41.94      4    9    900 (20)    90    41.94      4    9    900 (20)    90    41.94      4    9    9    9    9    9      4    9    9    9    9    9    9      4    9    9    9    9    9    9    9    9      4    9    9    9    9    9    9    9    9    9    9    9    9    9    9    16	2 0	600C (20)	90		-358.06		1 1						
Implementation	3 8	600C (20)	90		41.94		1 1			-			200 - 00
5      18-000C (200)      2-00      2-41.59      10      10	4 0	600C (20)	-90		41,94		1 5		1				20.0
4      m        Pretrozenie - káble      2.452 pretrozenie - káble        Jastavenie vnikomých sil pe výpočet - celková výslednica      4.61.452 m/l d.2 počené v temp drátkja        Nastavenie vnikomých sil pe výpočet - celková výslednica      Astuatov vť. dže počené v temp drátkja        N (NA)      0      0        V [OA)      0      0        Vz (NA)      - 205.91      0	5 B	600C (20)	290		241.94					9		NY	THE .
Pretvorenie - k.80e Vestavenie - k.80e Vesta	<]												<u>F</u> F
Nastavenie vnikorných sil pre výpočet - celková výslednica      2.443 prenovne spósobene studaní do tuditá        Nastavenie vnikorných sil pre výpočet - celková výslednica      2.443 prenovné spósobene studaní do tuditá        N (PA)      0      0        V (PA)      0      0        V (PA)      0      0        V (PA)      0      0	Ptetvorenie -	k.áble											Ħ
Zaddr. privoveni spoločni o daloga        Nasteveni vničkných sil po výpočiť - celková výslednica        Celkové      Premerné        52.ddž. privoveni spoločni v terito daloga        Akrustevniť číste z delené v terito daloga        vy (pla)      0        0      0        vy (pla)      0        0      0        vy (pla)      0							L		777				A
Zadať privovene sposoceni zínámi do halta        Astavenie vnůkoných síl pe výpočet - celková výslednica        Celkové      Premenné      Stále        N (Ma)							L		0				-16.7
Cellové      Premenné      Stále        V [P4]      0      -0        v2[N4]      -205.91      0											-	Zadať priny	orene sposobere makanı do kakta
Cellury      Preminne      State        N (04)      -0      -0        V (04)      0      0        v2 (04)      -205-91      0	Nastavenie v	nütomých sí	pre výpočel	- celková	vjslednica					_	-2	20111822	10.000.0000.000000000000
N DYN ( 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0		Cekové	Premenné	Stäle									
Yy Vet j u u u u u u u u u u u u u u u u u u	N [MN]	10 0		-0.									
KE (MA)													
a fail 1 or 1 or 1 or	Vy [kN]												

Obr. 16 Počiatočný stav prierezu.

Fázy výstavby, fázy prierezu a zmena materiálových charakteristík v čase je zohľadnená v nasledovných servisoch pre nepredpätý betón

- o návrh výstuže (tabuľka 2),
- o posúdenie MSÚ (metóda medzných pretvorení a interakčný diagram),
- o posúdenie MSP (len posúdenie šírky trhlín).

Tab. 2 Návrh výstuže do fázovaného prierezu po TDA analýze pre rôzne fázy výstavby.



# 7 ZÁVER

Veríme, že zmeny a novinky v posúdení železobetónových betónových konštrukcií v systéme SCIA Engineer 2008 budú prehľadným, výkonným a hlavne spoľahlivým nástrojom pre projektovanie.

# ZADÁNÍ, ZOBRAZENÍ A KRESLENÍ VÝZTUŽE ŽELEZOBETONOVÝCH KONSTRUKCÍ

# Ing. Petr Ševčík

SCIA CZ, s.r.o., Slavíčkova 1a, Brno

# 1 ÚVOD

Příspěvek rekapituluje současné možnosti vyztužování betonových prutových a plošných konstrukcí a použití výztuže pro posudky železobetonových konstrukcí v současné verzi systému Scia Engineer 2008.

# 2 PŘEDPOKLÁDANÁ VÝZTUŽ ZADANÁ V DATECH PRUTU A PLOCHY

Předpokládaná výztuž umožňuje jednoduché zadání i použití této výztuže při navrhování betonových konstrukcí. Výztuž se zjednodušeně zadává v Datech prutu a nebo Datech plochy.

#### 2.1 Předpokládaná výztuž pro pruty

Předpokládaná výztuž na prutech se zadává v Datech prutů počtem profilů při horním a dolním povrchu. Krytí výztuže, profil a materiál předpokládané výztuže odpovídá Nastavení v Datech prutu.

🗖 Data prutu		X
nų du	Materiál B Horní Předpokládaná výztuž (nu) 2 Průměr (du) (nm) 11	▼ ▲
	Typ krytí  m    Krytí betonu (cu) [mm]  2    Dolní  2    Předpokládaná výztuž (nl)  2    Průměr (dl) [mm]  2	nimální 🔽
	Typ krytí m Krytí betonu (cl) [mm] 3 ☐ Třmínky Materiál R	
bw	Předpokládaná vzdálenost (ss) [mm] 4 Průměr (ds) [mm] 8 <b>Romut</b> Akce	
	Nastavení výpočtů	OK Storno

Obr. 1 – Data prutu se zadanou předpokládanou výztuží

#### 2.1.1 Využití předpokládané výztuže při návrhu

Předpokládanou výztuž je možné využít při návrhu výztuže nosníků a nově také ve sloupech. Při spuštění návrhu jsou výztužné vložky automaticky vloženy do průřezu na základě dalších parametrů definovaných v Datech prutu, jako jsou krytí výztuže, materiál a profil. Výztužné pruty působí po celé délce nosníku. Výsledkem úspěšného návrhu je plocha výztuže nutná pro přidání do předvyztuženého nosníku.



# Obr. 2 – Srovnání průběhu plochy nutné přídavné výztuže prutů se zadanou předpokládanou výztuží (horní prut) a bez zadané předpokládané výztuže (dolní prut)

Předpokládanou výztuž je možné použít také při výpočtu normově závislých deformací, kde pro výpočet tuhosti vstupuje součet ploch předpokládané a nutné přídavné výztuže. Dále je možné využít předpokládanou výztuž i při zadání skutečných výztužných prutů v nosníku, kdy program automaticky převede předpokládanou výztuž na skutečnou.

Předpokládanou výztuž je možné používat pouze na nevyztužených nosnících, na vyztužených nosnících není možnost pro předpokládanou výztuž dostupná.

#### 2.2 Předpokládaná výztuž pro plochy

Podobně jako u prutů se předpokládaná výztuž pro plochy zadává v Datech ploch osovou vzdáleností výztužných vložek při horním a dolním povrchu plochy. Předpokládaná výztuž je aktivní pro celou plochu a pro její využití platí stejná pravidla jako pro předpokládanou výztuž prutů.

Data pro betonové plochy						
		Úhel prvního směru [deg]	0,00			
du .		Počet vrstev výztuže	2	-		
		1				
cu		Průměr (du,dl) [mm]	10,0	-		
		Úhel vrstvy	0.000	-		
		Krytí betonu (cu,cl) [mm]	25			
ج ک		Předpokládaná vzdálenost [mm]	150	-		
1		2				
		Průměr (du,dl) [mm] 10,0		-		
		Úhel vrstvy	90.000			
CI I		Typ krytí	pruty leží na sobě	-		
· · ·		Krytí betonu [mm]	35			
ai		Předpokládaná vzdálenost [mm]	200			
		Minimální krytí betonu				
		Odlišné pro povrchy				
ce de		Třída prostřodí	1 suchú	<u> </u>		
	Ako	ce in the second se				
	Na	ačíst standardní hodnoty	>>>			
· · · ·	Nastavení výpočtů					
				OK Storno		

Obr. 3 – Data plochy se zadanou předpokládanou výztuží

# **3** ZADÁNÍ A POUŽITÍ VÝZTUŽE V PRUTOVÝCH PRVCÍCH

Vyztužování prutových i plošných prvků doznalo v poslední verzi programu značných změn. Nově přibyly možnosti zadání více třmínkových zón na jednom prutu, vylepšeno bylo vyztužování prutů s proměnlivým průřezem a přibyla možnost definování výztuže kolem otvorů. Rozšířena byla možnost započítat koncové úpravy výztužných prutů při posuzování.

#### 3.1 Hlavní změny ve vyztužování prutových prvků

Jednou z hlavních novinek je rozlišení mezi vyztužováním třmínkovou a podélnou výztuží. Pro oba typy výztuže je dále umožněno rychlé zadání na celou délku prutu, pouze na jedno pole nosníků s proměnlivým průřezem a nebo pouze na jakoukoliv část.

Oproti minulým verzím se i zásadně změnila pravidla pro oba typy vyztužení. Třmínkovou výztuž je nyní možné zadávat i na část prutu, na jeden prut je možné zadat více typů třmínkové výztuže a je povolené i překrývání třmínkových zón. Tyto novinky umožňují vyztužovat například fázované průřezy, kde v různých částech průřezu je odlišné třmínkové vyztužení.



Obr. 4 – Příklad vyztužení fázovaného nosníku třmínkovou výztuží s rozdílnými vlastnostmi

#### 3.1.1 Nastavení parametrů pro nové výztužné vložky

V dialogu Nastavení pro beton přibyly nové možnosti využívané při zadávání a následných kontrolách po změně v konstrukci a nebo v geometrii výztužných vložek.

Nastavení pro beton - CSN		
Defaulty návrhu Výpočet Melineární výpočty Interakční diagram MSÚ MSP Šířka trhlin Konstrukční zásady Vyztužování Háky Automatický návrh výztuže Průřezové charakteristiky Varování a chyby	Vyztužování    Ohyby      Ohyb výztuže    Maximální počet ohybů třminků    7      ✓    Dělit podélnou výztuž na pole    7      ✓    Testovat překrývání třmínků s existujícími třmínky    Poznámka: Nové třmínky se nemohou překrývat s existujícími třmínků, pokud je volba "Kontrolovat překrývání třmínků" zaškrtnuta jak v      Setupu, tak v datech o zóně existujících třmínků    4      Minimální délka pro třmínky    0.3    m      Vzdálenost prvního třmínku od začátku nebo konce zóny    0.5    m      Vzdálenost prvního třmínku od začátku nebo konce zóny    0kraj s podporou    Podle uživatele    ✓      Uživatelská hodnota pro okraj s    0.05    m    0.05    m	

Obr. 5 – Parametry pro vyztužování

Význam jednotlivých parametrů je následující:

- Dělit podélnou výztuž na pole. Program nově umožňuje u nosníků o více polích nebo s proměnlivým průřezem definovat podélné výztužné vložky na celou délku nosníku. To znamená, že výztuž může procházet přes více polí. Podmínkou je pouze umístění výztužných vložek uvnitř betonového průřezu. Pokud není tato podmínka splněna, jsou výztužné vložky automaticky zkráceny. Kontrola se | provádí podle nastavení Počet dělení v poli pro podélnou výztuž.
- Testovat překrývání třmínků s existujícími třmínky. Přepínač pro kontrolu překrývání nových třmínkových zón s existujícími.
- Minimální délka pro třmínky definuje minimální délku třmínkové zóny. Program neumožňuje zadat menší délku třmínkové zóny, než je zadaná tímto parametrem.
- Minimální délka pro podélnou výztuž udává minimální délku výztužných prutů.
- Skupina Vzdálenost prvního třmínku od začátku nebo konce třmínkové zóny seskupuje parametry pro zadání pozice prvních třmínků vzhledem k počátku nebo konci nosníku. Při nastavení se rozlišují konce bez podpory a s podporou a je možné zadat přímo osovou vzdálenost nebo vzdálenost v závislosti na osové vzdálenosti třmínků.

#### 3.1.2 Nová vlastnosti třmínků a podélné výztuže

V dialogu vlastností třmínků a podélné výztuže přibyly nové položky, z nichž nejvýznamnější jsou

- Konstrukční výztuž přepínač umožňuje definovat konstrukční výztuž, která není započítána pro posouzení a slouží například pouze pro fixování pozice podélné výztuže,
- Třmínky a podélné pruty přenášející kroucení přepínač umožňuje výběr třmínků a výztužných prutů určených pro přenesení kroucení,
- Třmínky přenášející smyk ve spáře podobně jako pro kroucení je možné pomocí přepínače vybrat třmínky pro přenos smyku ve spáře fázovaných průřezů,
- Výztuž působící na celou délku prutu a nebo pole prutu přepínač umožňuje automaticky prodlužovat nebo zkracovat výztužné vložky a délku třmínkových zón po změně geometrie nosníku,
- Test na překrývání různých třmínkových zón,
- Zadání pozice prvního třmínku od kraje nosníku umožňuje přesné zadání pozice třmínků na nosníku.

#### 3.1.3 Vyztužování prutů s proměnlivým průřezem

Minulá verze programu v podstatě neumožňovala vytužování nosníků s proměnlivým průřezem. Důvodem bylo omezené použití třmínků pouze pro jeden tvar průřezu. V nové verzi je toto omezení překonáno variabilitou při definování libovolného počtu různých tvarů třmínků po celé délce nosníku. Také podélná výztuž není omezena délkou polí nosníku a může procházet přes více jeho polí.



Obr. 6 – Příklad vyztužení nosníku s proměnlivým průřezem

#### 3.2 Nové možnosti vyztužování kolem otvorů v prutových prvcích

Vytváření speciální výztuže v prutových prvcích kolem velkých otvorů je další novinkou ve vyztužování prutových prvků. Výztužné pruty, procházejí otvory určenými pro analýzu, jsou automaticky ořezány a pro posouzení se započítává pouze jejich aktivní část mimo tyto otvory. Podobně se kolem otvoru automaticky mění rozmístění třmínků a třmínky procházející otvorem jsou odstraněny. V místech otvorů je vytvořeno speciální pole, do kterého není možno zadat původní třmínky z důvodu jiného tvaru průřezu a tím i jiného tvaru třmínků. Jelikož rozměry ani pozice otvorů na nosníku nemusí být konečné, program umožňuje tyto parametry měnit a následně automaticky aktualizuje ořezání podélné výztuže a pozice třmínků.



Obr. 7 – Úprava výztuže kolem otvorů v nosníku

Popsané úpravy jsou ve většině případů dostačující, přesto je někdy nezbytné definovat přídavnou výztuž kolem otvorů a následně i tato kritická místa posoudit. Zvláště pokud se jedná o velké otvory. Přídavná výztuž kolem otvorů se definuje pomocí samostatných příkazů podobně jako standardní výztuž pouze s tím rozdílem, že se pro zadání používá průřez procházející otvorem. Takto zadaná výztuž je provázána s geometrií otvoru a automaticky reaguje na změny, které se s otvorem provedou. Je tedy možné měnit pozici i rozměry otvoru, aniž by bylo nutné výztuž mazat a zadávat znovu.



Obr. 8 – Přidání výztuže kolem otvorů

Oslabené průřezy v místech otvorů je samozřejmě možné posoudit standardním způsobem pomocí posudku prutu a nebo detailním posudkem v samostatném dialogu.



Obr. 9 – Výsledek posouzení oslabeného průřezu

#### 3.3 Koncové úpravy výztužných vložek a jejich využití při posuzování

Zadání koncových úprav výztužných vložek bylo umožněno již v předchozích verzích, započítání jejich vlivu při posuzování je významnou novinkou ve vyztužování v programu Scia Engineer. Koncovými úpravami se rozumí prodloužení výztužných vložek, zadaných pro přenesení vnějších účinků, o normou předepsané zakotvení. Typy připravených kotevních délek je možné nastavit v dialogu Nastavení betonu na záložce Koncové úpravy. Zadání koncové úpravy výztužných prutů a třmínků se provádí v dialogu vlastností výztužných zón. Koncové úpravy se mohou kvůli rozlišení kreslit jinou barvou než původně zadaná výztuž.



Obr. 10 – Ukázka typů koncových úprav a srovnání jejich využití na prutových prvcích

Výztužné vložky, zadané bez koncové úpravy, působí "naplno" v celé své délce. Prodloužením výztužných vložek o koncovou úpravu je možné modelovat postupný nárůst využití vložek po délce nosníku. Postupný nárůst využití se modeluje pomocí redukce pracovních diagramů výztuže v závislosti na automaticky počítané kotevní délce výztužných vložek určené na základě typu koncové úpravy a vlastností výztužných vložek.



Obr. 11 – Srovnání průběhu momentu na mezi únosnosti pro nosníky s výztuží zadanou na celou délku nosníku bez koncových úprav a nosníku se započteným vlivem koncových úprav kotevních prutů

Průběh napětí v jednotlivých výztužných vložkách je možné kontrolovat pomocí dialogu pro Posouzení průřezu. Zde je možné pro libovolnou pozici na prutu a každou výztužnou vložku odečíst konkrétní napětí a přetvoření z pracovního diagramu.



Obr. 12 – Srovnání pracovních diagramů výztužné vložky nosníků z předchozího příkladu. Pracovní diagram výztužné vložky na druhém prutu je redukován.

#### 3.4 Volné výztužné vložky

Načtení zadané konstrukce včetně výztuže z CAD programů a jejich následné použití v programu Scia Engineer je stále častějším požadavkem. Protože není možné vždy uzpůsobit importovanou výztuž požadavkům programu Scia, byly vyvinuty nové, tzv. volné výztužné pruty a třmínky. Tato výztuž je nezávislá na geometrii prutu nebo plochy a má svou vlastní geometrii. Díky této vlastnosti je možné vkládat výztuž do prutu či desky podobně zcela nezávisle, následné přiřazení výztuže k prutovému či plošnému prvku se provede automaticky nebo ručně uživatelem.



Obr. 13 – Ukázka vyztužení desky volnými pruty

# 4 ZÁVĚR

Vyztužování v programu Scia Engineer 2008 je nyní komplexním nástrojem pro zadání (od zjednodušeného pomocí předpokládané výztuže až po detailní zadání jednotlivých výztužných vložek včetně koncových úprav), vykreslení a posouzení prutových i plošných prvků. Pro případný import výztuže z jiných programů je připravena konverze tvaru výztuže a zajištěno stejné využití jako u standardní výztuže zadané v programu Scia Engineer.

# DIMENZOVANIE 2D ŽELEZOBETÓNU PODĽA EN 1992-1-1

#### Ing. Eduard Hobst, Ph.D.

Ingenieurbüro Dr. Hobst für Statik+Dynamik & Software-Entwicklung Development Patrner & Local Product Ingenieur (Concrete) Nemetschek SCIA Spitzenberg 5, D - 90403 Nürnberg

### 1 ÚVOD

"Dimenzovanie plošných železobetónových konštrukcií" – v skrátenom tvare "Dimenzovanie 2D" – je základnou úlohou projektovania, spolu s dimenzovaním 1D, a napriek tomu nie je frekventovanou témou seminárov v rámci Nemetschek SCIA. Je to zrejme preto, že roky búrlivých zmien programu NEDIM (interné meno modulu pre dimenzovanie 2D, integrovaného do systému SCIA Engineer ako DLL modul) ležia v minulosti, a program podlieha zväčša (alebo zdanlivo) nedramatickým zmenám. Tie sú vyvolané tak prenikaním firmy Nemetschek SCIA na ďalšie európske a svetové trhy, čím vzniká nutnosť implementovať nové normové vetvy, tak aj novelizáciami už implementovaných noriem, ktoré stavajú doterajší spôsob dimenzovania "mimo zákon", ale aj zvýšenými požiadavkami užívateľov, ktorí sa domáhajú zlepšenia komfortu, zvýšenia účinnosti programu alebo rozšírenia podávanej informácie, teda výstupných dát. Posledná sumárna požiadavka, ako výslednica jednotlivých návrhov a kritických pripomienok posledných rokov, sa stala predmetom projektu *Refactoring 2D*, ktorý v tomto roku speje k svojmu zavŕšeniu. Článok podáva informáciu o stave projektu a jeho zámeroch.

### 2 DATABÁZA 2D DIMENZOVANIA PRED "REFACTORING"

Aby sme mohli porovnať zmeny v rozsahu informácie spravovanej a podávanej na výstup modulom NEDIM, zhrnieme štruktúru databázy, vytváranej pre každú úlohu dimenzovania pod systémom ESA Engineer. Je to binárny súbor s priamym prístupom, pevnej dĺžky vety 100 [Byte], individuálneho dátového typu .OR0 (tak sa skrátene označuje). Znamená to, že pamäťové pole dĺžky 25 reálnych premenných (jednoduchej presnosti – odpovedá zobrazeniu čísla na cca 6 desatinných miest) postačí pri temer ideálnom obsadení záznamovej vety, ktoré sa podarilo pri zakladaní programu NEDIM začiatkom 90. rokov minulého storočia dosiahnuť, na uloženie a sprostredkovanie výsledkov dimenzovania v jednom "bode". Bola to informácia, ktorá podala dokonalý obraz o veľkosti nutnej výstuže, namáhaní betónu na tlak a šmyk a o stave výstužných vložiek jednotlivých špecifikovaných smerov (aktívna resp. nevy-užitá, konštruktívna, tlaková či ťahová výstuž). O najzaujímavejších aspektoch dimenzovania 2D sa referovalo práve z platformy tohto 100 bytového dátového záznamu .OR0 i v predchádzajúcich ročníkoch tejto konferencie [1], [2], [3]. K nemu sa vzťahuje i aktuálna verzia *Teoretických základov dimenzovania 2D* [4].

Pripomeňme ešte pre úplnosť, čo sa rozumie pod pojmom "bod" v zmysle dimenzovania 2D, ako bolo spomenuté v predošlom odstavci: podľa stavu vývoja výpočtového jadra FEM to

boli najskôr centroidálne body a uzly konečných prvkov; v škrupinovom modeli získavali interpoláciou/extrapoláciou, teda bez priameho dimenzovania, reprezentatívne hodnoty v uzloch siete. NEDIM spracúval obidve podmnožiny objektov a viedol výsledky ich dimenzovania v dvoch podblokoch databázy .OR0. V súčasnej, dúfajme konečnej, fáze hľadania optima *riešiča* – ako výslednici ústupkov voči presnosti riešenia a vylepšenia dátovej štruktúry, prinášajúceho nesporné výhody predovšetkým pre grafické spracovanie výsledkov – sa dodávajú modulu NEDIM výlučne vnútorné sily vztiahnuté na uzly elementov. NEDIM teda spracúva len jeden blok dát. "Dimenzovanie v bode" je teda proces dimenzovania vo vnútornom uzle vybratého elementu (výber sa vykonáva štandardne po makroelementoch).

Uvádzame štruktúru základnej vety uzla elementu databázy .OR0 v tabuľkovej forme:

Offset	Položka	Špecifikácia	$\diamond$				
0	iel	Číslo elementu v databáze SCIA Engineer	1i4				
4	<b>a1</b> # [cm <sup>2</sup> /m]	Staticky nutná plocha výstuže pri líci $-Z_p$ (smery # = 1,2,3)	3r4				
16	<b>a2</b> # [cm <sup>2</sup> /m]	Staticky nutná plocha výstuže pri líci $+Z_p$ (smery # = 1,2,3)	3r4				
28	asv $[cm^2/m^2]$	Nutná šmyková (strmienková) výstuž	1r4				
32	tau [MPa]	Výpočtové šmykové napätie					
36	tau0 [MPa]	Vzdorujúce šmykové napätie na medzi Šmykovej oblasti 1(0)	1r4				
40	ish	Šmyková oblasť	1i2				
42	NSt	Stav (ne)dimenzovateľnosti	1i2				
44	sid# [kg]	Výstužný index $(-Z_{p,}+Z_{p,} smyk)$	3r4				
56	<b>h</b> [m]	Výška prierezu	1r4				
60	ra1# [°]	Uhly výstužných smerov k lokálnej osi $+X_p$ pri líci $-Z_p$ (smery # = 1,2,3)	3r4				
72	ra2# [°]	Uhly výstužných smerov k lokálnej osi $+X_p$ pri líci $+Z_p$ (smery # = 1,2,3)	3r4				
84	NMAC	Číslo makroelementu v databáze SCIA Engineer	1i4				
88	ialt	Špeciálny riadiaci parameter vetvenia pre Testovaciu stratégiu (default: ialt=0)	1i2				
90	ISEF	Riadiaci parameter pre "Shear Effect"	1i2				
92	ISHE	Špeciálny riadiaci parameter pre šmyk resp. kontrolu trhlín (podľa normy)	1i1				
93	info1#	Ukazovateľ stavu výstuže pri líci $-Z_p$ (smery # = 1,2,3)	3i1				
96	info2#	Ukazovateľ stavu výstuže pri líci $+Z_p$ (smery # = 1,2,3)	3i1				
99	infs	Ukazovateľ stavu šmykovej výstuže	1i1				
	Dĺžka základnej podvety ULS databázy .OR0 = 100 [Byte]						

Tabuľka 1. Opis vety uzla databázy .OR0 v základnom rozsahu ULS 100 [Byte]

V tejto i v nasledujúcich tabuľkách sa pojmom *Offset* (záhlavie prvého stĺpca tabuľky) vyjadruje vzdialenosť položky vety od jej začiatku v [Byte]. Posledný stĺpec (> v záhlaví) uvádza symbolicky typ premennej (vrátane jej dĺžky [Byte]) a ich počet v skupine/poli (i – integer; r – real).

# 3 ROZŠÍRENIE DATABÁZY .OR0 V PROJEKTE "REFACTORING"

Projekt "Refactoring 2D" mal za cieľ rozšíriť informáciu o výsledkoch dimenzovania ukladaných do databázy .OR0 a tým poskytnúť pokiaľ možno úplnú množinu dát o dimenzovaní 2D pre grafické spracovanie a výstup do dokumentu. Vytvoril sa koncept rozšírenia databáze .OR0, ktorý pravdepodobne uspokojí i náročných užívateľov.

Rozšírenie databázy .OR0 opíšeme pokračovaním špecifikácie záznamovej vety uzla v tabuľkovej forme. Opis rozdelíme na dve časti: (1) podvetu týkajúcu sa výsledkov medzného stavu únosnosti (ULS); (2) podvetu výsledkov medzného stavu použiteľnosti (SLS).

#### 3.1 Rozšírená veta výsledkov ULS v databáze .OR0

Offset	Položka	Špecifikácia	$\diamond$		
100	<b>z1</b> [m]	Výpočtová hodnota ramena vnútorných síl vztiahnutá na líce $-Z_p$	1r4		
104	<b>z2</b> [m]	Výpočtová hodnota ramena vnútorných síl vztiahnutá na líce $+Z_p$	lr4		
108	<b>x1</b> [m]	Reprezentatívna hodnota tlačenej zóny betónu pri líci $-Z_p$ (odpovedajúca <b>z2</b> )	lr4		
112	<b>x2</b> [m]	Reprezentatívna hodnota tlačenej zóny betónu pri líci $+Z_p$ (odpovedajúca <b>z1</b> )	1r4		
116	epss1 [‰]	Reprezentatívna hodnota pretvorenia výstužnej oceli pri líci $-Z_{\rm p}$	1r4		
120	epss2 [‰]	Reprezentatívna hodnota pretvorenia výstužnej oceli pri líci +Z <sub>p</sub>	1r4		
124	epsc1 [‰]	Reprezentatívna hodnota pretvorenia betónu pri líci $-Z_p$ (odpovedajúca <b>z2</b> )	1r4		
128	epsc2 [‰]	Reprezentatívna hodnota pretvorenia betónu pri líci $-Z_p$ (odpovedajúca z1)			
132	sigs1# [MPa]	[a] Výpočtová hodnota napätí vo výstužnej oceli pri líci $-Z_p$ (smery # = 1,2,3)			
144	sigs2# [MPa]	Výpočtová hodnota napätí vo výstužnej oceli pri líci $+Z_p$ (smery # = 1,2,3)	3r4		
156	sigc1 [MPa]	Reprezentatívna hodnota napätia betónu pri líci –Z <sub>p</sub>	1r4		
160	sigc2 [MPa]	Reprezentatívna hodnota napätia betónu pri líci $+Z_p$	1r4		
164	betav [°]	Uhol smeru výpočtovej šmykovej sily k osi $+X_p$	1r4		
168	theta [°]	Výpočtový uhol virtuálnej šmykovej betónovej vzpery	1r4		
172	<b>av1#</b> [cm <sup>2</sup> /m]	Staticky nutná sieťová (pozdĺžna) výstuž výlučne v dôsledku "Shear Effect", obsiahnutá v a1# (Tab. 1), pri líci $-Z_p$ (smery # = 1,2,3)	3r4		
184	av2# [cm²/m]Staticky nutná sieťová (pozdĺžna) výstuž výlučne v dôsledku "Shear Effect", obsiahnutá v a2# (Tab. 1), pri líci $+Z_p$ (smery $\# = 1,2,3$ )				
196	xdum4	Rezervovaná položka pre ULS	1r4		
	Dĺžka rozš	irujúcej podvety ULS databázy .OR0 = 100 [Byte]			

Tabuľka 2. Opis vety uzla databázy .OR0 v rozšírenom rozsahu USL 101–200 [Byte]

#### 3.2 Rozšírená veta výsledkov SLS v databáze .OR0

Prvý krok algoritmu dimenzovania NEDIM – posúdenie v medznom stave únosnosti – je "povinný". Určia sa staticky nutné plochy výstuže, ktoré sa uložia v databáze .OR0, kde sú k dispozícii tak priamo pre grafický postprocesor a správcu dokumentov ako aj pre druhý krok algoritmu NEDIM, ktorý sa v podstate bez výsledkov dimenzovania ULS nezaobíde.

Druhý krok algoritmu dimenzovania NEDIM – posúdenie v medznom stave použiteľnosti –, ktorého ťažisko leží v kontrole trhlín, je "nepovinný". Je vecou užívateľa ho vykonať alebo nie. V prípade, že výpočet SLS neprebehne, zostanú veličiny podvety uzla elementu od hranice 200 [Byte] nedefinované. NEDIM v tom prípade signalizuje svojim postprocesorom, že výpočet SLS neprebehol, uložením kontrolných hodnôt RD = -99999. do lokácií všetkých reálnych premenných podvety; *de facto* sú to počiatočné hodnoty databázy, ktorými sa súbor .OR0 inicializuje pri zakladaní.

Štruktúra záverečnej podvety SLS parametrov uzla databázy .OR0 je opäť opísaná v tabuľke:

Offset	Položka	Špecifikácia	$\diamond$				
200	<b>ar1</b> # [cm <sup>2</sup> /m]	Nutná plocha výstuže pre kontrolu trhlín pri líci $-Z_p$ (smery # = 1,2,3)	3r4				
212	<b>ar2</b> # [cm <sup>2</sup> /m]	Nutná plocha výstuže pre kontrolu trhlín pri líci $+Z_p$ (smery # = 1,2,3)	3r4				
224	w1# [mm]	Optimalizovaná/výpočtová šírka trhlín pri líci $-Z_p$ (smery # = 1,2,3) <u>Alternatívne</u> : BAEL 91/99 $\rightarrow$ 3 × RD (RD = -999999.) SIA 262 $\rightarrow$ 2/3 × EXIG1 (EXIG1 = 0.,1.,2.)	3r4				
236	<b>w2#</b> [mm]	Optimalizovaná/výpočtová šírka trhlín pri líci + $Z_p$ (smery # = 1,2,3) <u>Alternatívne</u> : BAEL 91/99 $\rightarrow$ 3 × RD (RD = -999999.) SIA 262 $\rightarrow$ 2/3 × EXIG2 (EXIG2 = 0.,1,2.)	3r4				
248	<b>phi1</b> # [mm]	Maximálne prípustné priemery výstužných vložiek pri líci $-Z_p$ (smery # = 1,2,3)	3r4				
260	<b>phi2</b> # [mm]	Maximálne prípustné priemery výstužných vložiek pri líci $+Z_p$ (smery # = 1,2,3)	3r4				
272	<b>dis1</b> # [mm]	Vzdialenosti výstužných vložiek odpovedajúce <b>ar1#</b> a <b>phi1#</b> pri líci $-Z_p$ (smery # = 1,2,3)	1r4				
284	<b>dis2</b> # [mm]	Vzdialenosti výstužných vložiek odpovedajúce <b>ar2#</b> a <b>phi2#</b> pri líci $+Z_p$ (smery $\# = 1,2,3$ )	1r4				
296	sigr1# [MPa]	Výpočtová hodnota napätí vo výstužnej oceli pri líci $-Z_p$ (smery # = 1,2,3)	3r4				
308	sigr2# [MPa]	Výpočtová hodnota napätí vo výstužnej oceli pri líci $+Z_p$ (smery # = 1,2,3)	3r4				
320	sigrc# [MPa]	Reprezentatívna hodnota napätia betónu pri líci $-Z_p$	1r4				
324	sigrc# [MPa]	Reprezentatívna hodnota napätia betónu pri líci $+Z_p$	1r4				
	Dĺžka podvety vnútorného uzla elementu SLS databázy .OR0 = 128 [Byte]						
Cel	Celková dĺžka vety vnútorného uzla elementu (ULS+SLS) databázy .OR0 = 328 [Byte]						

Tabuľka 3. Opis vety uzla databázy .OR0 v rozšírenom rozsahu SLS 201–328 [Byte]

# 4 DATABÁZA DIMENZAČNÝCH SÍL .OR1

Algoritmus NEDIM vykonáva transformáciu vnútorných síl riešenia MKP na dimenzačné sily [4]. Tento proces prebieha diferencovane podľa konštrukčného modelu (stena, doska, škrupina). Doposiaľ NEDIM dimenzačné sily, priamo zodpovedné za veľkosť výstuže či hlásenie o nedimenzovateľnosti, nepodával na ďalšie spracovanie. Informačné údaje, tiež nazvané "dimenzačnými silami", sa síce vytvárali na úrovni výpočtového jadra MKP a dodávali pre grafické spracovanie výsledkov, *de facto* však mali s dimenzačnými silami NEDIM len náhodnú afinitu. Dochádzalo tak k neustálym nedorozumeniam na hotline, lebo užívatelia majú sklon posudzovať výsledky dimenzovania na základe deklarovaných dimenzačných síl skôr ako na základe spoľahlivých priamych vnútorných síl riešenia MKP. Užívatelia i interní testeri programu poukazovali na nesúlad medzi vykazovanými dimenzačnými silami a výstužou. Tento stav faktickej dezinformácie sa odstráni zavedením doplnkovej databázy NEDIM, podobnej štruktúry ako hore opísaná .OR0. Jej súbor dostane meno projektu a rozšírenie .OR1. Dimenzačné veličiny sa v nej opäť vzťahujú k uzlom elementu.

Uvádzame štruktúru základnej vety uzla elementu databázy .OR1 opäť v tabuľkovej forme:

Offset	Položka	Špecifikácia	$\diamond$
0	iel	Číslo elementu v databáze SCIA Engineer	1i4
4	<b>df1</b> (#) [kN(m)/m]	Zovšeobecnené dimenzačné sily pri líci $-Z_p$ (smery # = 1,2,3)	3r4
16	<b>df2</b> (#) [kN(m)/m]	Zovšeobecnené dimenzačné sily pri líci + $Z_p$ (smery # = 1,2,3)	3r4
28	<b>ds1</b> [kN(m)/m]	Zovše obecnená dimenzačná sila virtuálnej vzpery pri líci – $Z_{\rm p}$ $(\leq 0)$	1r4
32	<b>ds2</b> [kN(m)/m]	Zovše obecnená dimenzačná sila virtuálnej vzpery pri líci + $Z_{\rm p}$ $(\leq 0)$	1r4
36	<b>vd</b> [kN/m]	Dimenzačná šmyková sila	1r4
40	mark1(#)	Indikačné pole zovšeobecnených dimenzačných síl pri líci $-Z_p$ (smery # = 1,2,3)	3i1
43	mark2(#)	Indikačné pole zovšeobecnených dimenzačných síl pri líci $+Z_p$ (smery # = 1,2,3)	3i1
46	istrut1	Poloha virtuálnej vzpery pri líci $-Z_p$ (vztiahnutá na <b>df1</b> (#))	1i1
47	istrut2	Poloha virtuálnej vzpery pri líci $+Z_p$ (vztiahnutá na <b>df2</b> (#))	1i1
48	ish	Šmyková oblasť (identická hodnota s Tab. 1)	1i2
50	lcc1(#)	Pole čísiel kombinácií ZS zodpovedných za zložky <b>df1</b> (#) (smery # = 1,2,3)	3i2
56	lcc2(#)	Pole čísiel kombinácií ZS zodpovedných za zložky <b>df2</b> (#) (smery # = 1,2,3)	3i2
62	lc1(#)	Pole čísiel ZS resp. jednotlivých ZS kombinácií zodpovedných za zložky <b>df1</b> (#) (smery $\# = 1,2,3$ )	3i2
68	lc2(#)	Pole čísiel ZS resp. jednotlivých ZS kombinácií zodpovedných za zložky <b>df2</b> (#) (smery $\# = 1,2,3$ )	3i2
		Tabuľka 2 pokra	ačuje

Tabul'ka 4. Opis vety uzla elementu databázy .OR1 – dimenzačné veličiny

Offset	Položka	Špecifikácia	$\diamond$				
74	lccv	Číslo kombinácie ZS zodpovednej za vd	1i2				
76	lev	Číslo ZS resp. jednotl. ZS kombinácie zodpovedného za vd	1i2				
78	NSt	Stav (ne)dimenzovateľnosti (identická hodnota s Tab. 1)	1i2				
Dĺžka vety vnútorného uzla elementu databázy .OR1 = 80 [Byte]							

Tabul'ka 4. Opis vety uzla elementu databázy .OR1 – pokračovanie

# 5 ZÁVER

Projekt "Refactoring" bol opísaný pomocou tabuliek bez zabiehania do detailov. Podľa potreby sa hlbší rozbor podá na stránkach základnej teoretického manuálu [4] resp. v rámci diskusie na konferencii. V akej relácii však stojí názov článku, zameriavajúci sa výslovne na normovú vetvu EN 1992-1-1:2004 k všeobecne pojatému opisu databáz .OR0 a .OR1? Názov článku je oprávnený, lebo rozhodujúci impulz pre dôsledné doriešenie projektu prišiel práve z užívateľského prostredia tejto modernej európskej normy. Rozšírenie .OR0 resp. zavedenie novej databázy .OR1 prebehlo predovšetkým so zreteľom na terminológiu EN a špecifiká jej výpočtovej vetvy v rámci NEDIM – s úmyslom odstrániť roztrieštenosť opisov jednotlivých normových vetiev v predchádzajúcich (prípravných) verziách. Istej diverzifikácii opisov, predovšetkým v súvislosti s kontrolou trhliniek, sa však nebude možné vyhnúť, ako už bolo naznačené v tabuľkách 1 a 3; predkladaný opis databáz je však platný pre EN 1992-1-1:2004.

V dobe dokončenia článku bola k dispozícii len vývojová verzia SCIA Engineer obsahujúca implementáciu grafického spracovania resp. zohľadnenia rozšírených výsledkov projektu "Refactoring" v dokumente. Pre istotu sa upustilo od úmyslu predviesť aspoň niektoré kópie obrazovky ilustrujúce zmenené prostredie 2D dimenzovania. Podľa stavu vývoja sa tento dlh môže napraviť v prednáške na konferencii resp. v rámci Workshopu.

# LITERATÚRA

- [1] Hobst, Ed. Sevčík, P.: SCIA.ESA PT 5.0 Dimenzovanie železobetónových plošných konštrukcií podľa STN 73 1201 v porovnaní s európskymi normami.
  Zborník 4. seminára "Modelovanie stavebných konštrukcií", Tatranská Štrba, Hotel Meander, 14.-15.10.2004, SCIA SK s.r.o., Žilina 2004, str. 85-94.
- [2] Hobst, Ed.: Novinky a vybraté príklady 2D dimenzovania železobetónu v ESA PT 5.2. Zborník 5. seminára "Modelovanie stavebných konštrukcií", Tatranská Štrba, Hotel Meander, 6.-7.10.2005, SCIA SK GmbH, Žilina 2005, str. 47-58.
- [3] Hobst, Ed.: *Návrh a dimenzovanie predpätých stropných dosiek v ESA PT 2006.1.* Zborník 6. seminára "Modelovanie stavebných konštrukcií", Tatranská Štrba, Hotel Meander, 12.-13.10.2006, SCIA SK s.r.o., Žilina 2006, str. 61-74.
- [4] Hobst, Ed.: ESA-Prima Win & SCIA Engineer Reinforced Concrete Design of 2D Structures – Theoretical Background (v angličtine). Nemetschek SCIA, Herk-de-Stad (B) 2008, 5+85 strán.

# POSOUZENÍ PŘEDPJATÝCH KONSTRUKCÍ PODLE EN 1992-1-1 A EN 1992-2 VE SCIA ENGINEER 2008 A 2008.1

### Doc. Ing. Jaroslav Navrátil, CSc.

SCIA CZ, Slavíčkova 1a, 638 00 Brno ÚBZK FAST, VUT v Brně, Veveří 95, 662 37 Brno

# 1 ÚVOD

Článek popisuje novinky v zadání, modelování, analýze, posouzení a prezentaci výsledků řešení předpjatých betonových konstrukcí v systému SCIA Engineer ve verzích 2008 a 2008.1.

Ve *SCIA Engineer 2008* došlo sice k drobným úpravám i v obecných částech modulů pro řešení předpětí, těžiště však spočívalo v doplnění a rozšíření funkcionality vážící se k evropským normám EN 1992-1-1 a EN 1992-2. Jde především o:

- Zavedení nových pevnostních tříd pro vysokopevnostní beton a následně rozšíření modulu pro časově-závislou analýzu (TDA) o výpočet smršťování a dotvarování betonu podle EN1992-2.
- Automatický výpočet délek přenosu a kotevních délek předem předpjaté výztuže dle EN1992-1-1.
- Výpočet ztráty předpětí způsobené rozdílem teplot předem předpjaté výztuže a opěrného zařízení dle EN1992-1-1.
- Posouzení smykového napětí mezi betony různého stáří pro spřažený průřez sestávající z maximálně tří fází průřezu podle EN1992-1-1.

K vylepšení uživatelského komfortu v obecné části programu, která se neváže přímo k žádné z národních norem, došlo zejména ve fázích výstavby:

• Pro modul TDA byl doplněn automatický výpočet délek podintervalů časové osy podle uživatelsky zadaného celkového počtu časových intervalů, ve kterém je provedení časové analýzy požadováno.

Ve SCIA Engineer 2008.1 byly v normově závislé části:

• Zavedeny nové materiály pro předpínací lana podle prEN10138.

V obecné části byly potom doplněny:

- Nový způsob zadání dodatečně předpjatých kabelů pomocí tzv. referenční křivky se zdrojovou geometrií.
- Možnost aplikovat dodatečně předpjaté kabely přímo (bez nutnosti definovat fiktivní prut 1D) i na elementy 2D, které neleží v jedné rovině.

# 2 IMPLEMENTOVANÉ ČÁSTI EN 1992-2

#### 2.1 Nové pevnostní třídy betonu

Požadavek předních evropských výrobců prefabrikovaných konstrukcí zavést do systému ustanovení týkající se analýzy vysokopevnostního betonu včetně výpočtu smršťování a dotvarování betonu podle EN 1992-2 vyústil v zavedení nových tříd betonu. Ty jsou odlišeny od betonů EN1992-1-1 příponou (EN1992-2), viz obr. 1. Tyto pevnostní třídy betonu mají speciální vlastnosti oproti standardním pevnostním třídám. Uživatel má možnost zvolit, zda bude uvažovat při výpočtu beton obsahující křemičitý úlet. Podle této normy je beton s křemičitým úletem definován jako beton obsahující křemičitý úlet v množství odpovídajícímu minimálně 5% hmotnostního obsahu cementu.

C12/15	□ EN 1992-2			
C16/20	Charakteristická válcová pevnost v	50,00		
C20/25	Vypočtené závislé hodnoty			
C25/30 C30/37	Průměrná pevnost v tlaku fcm(28) [	58,00		
C35/45	fcm(28) - fck(28) [MPa]	8,00		
C40/50	Střední pevnost v tahu fctm(28) [M	4,10		
C45/55	fctk 0.05(28) [MPa]	2,90		
C50/60	fotk 0.95(28) [MPa]	5.30		
C55/67	Vúpočtová pevnost v tlaku - trvalá (	33,33 41,67 20.0		
C60775 C70/85	Vúpočtová pevnost v tlaku - mimoř			
C80/95	Poměrné přetvoření při dosažení			
C90/105	Mezní poměrné přetvoření eps cu	35.0		
C50/60(EN1992-2)	Poměrné přetvoření při dosažení	18.0		
C55/67(EN1992-2)	Mezní poměrné přetvoření pri dosazení	35.0		
C60/75(EN1992-2) C70/85(EN1992-2)	Průměr k amenius (de) [rom]	32		
C80/95(EN1992-2)	Třída comonhu	B (ruchle tubpoucí - CEM 42.5 B. C		
C90/105(EN1992-2)	Křemičitý úlet	The second control of the second seco		
	Soucinitei bezpechosti pro extrapoi			
Křemičitý úlet				

#### Obr.1 - Knihovna pevnostních tříd betonu

#### 2.2 Výpočet smršťování a dotvarování dle EN1992-2

Model výpočtu dle této normy patří k nejnovějším modelům výpočtu dotvarování a smršťování betonu. Podle omezení v EN1992-2 je model doporučen pouze pro vysokopevnostní betony pevnostních tříd C50/60 a vyšších, vyráběné z rychle tuhnoucích cementů třídy R. Výpočet dotvarování a smršťování je rozdělen na čtyři následující složky:

- autogenní smršťování,
- smršťování od vysychání,
- základní dotvarování,
- dotvarování při vysychání.

Výpočet jednotlivých dílčích součinitelů je závislý na tom, zda použitý cement v betonu obsahuje či neobsahuje křemičitý úlet. Platnost použitých vzorců pro výpočet dotvarování a smršťování dle této normy je podmíněna relativní vlhkostí prostředí nižší než 80%. Pokud se v konstrukci nachází beton dle normy EN1992-2 a je nastavena relativní vlhkost prostředí vyšší než 80%, program při spuštění časově závislé analýzy varuje uživatele o použití nedovolené vlhkosti prostředí. Model výpočtu dle EN1992-2 obdobně jako podle EN1992-1-1, respektuje historii zatížení.

Norma EN1992-2 také zavádí tzv. součinitel bezpečnosti pro extrapolaci zpožděného poměrného přetvoření na dlouhodobé období. Pro beton starší než jeden rok mohou být tímto součinitelem násobeny hodnoty smršťování od vysychání  $\varepsilon_{cd}(t)$  a základního dotvarování  $\varphi_b(t,t_0)$  dle EN1992-2 a dále i hodnoty součinitele dotvarování  $\varphi(t,t_0)$  a základního poměrného přetvoření od smršťování vysycháním  $\varepsilon_{cd,0}$  dle EN1992-1-1. Tento součinitel lze také nastavit ve vlastnostech betonu obou norem pro každou pevnostní třídu zvlášť, viz obr. 1. Na obr. 2 je provedeno informativní srovnání vývoje součinitele dotvarování sloupu z betonu třídy C60/75 podle obou norem.



Obr.2 - Vývoj součinitele dotvarování v čase pro C60/75

### **3** AUTOMATICKÝ VÝPOČET DÉLEK PŘENOSU A KOTEVNÍCH DÉLEK PŘEDEM PŘEDPJATÉ VÝZTUŽE DLE EN1992-1-1

Délka, ve které se předpínací síla zcela přenese do betonu, závisí na velikosti předpínací síly. Rozlišujeme délku přenosu  $l_{pt}$ , na které se přenese počáteční předpínací síla a kotevní délku  $l_{bpd}$ , na které se do betonu zcela přenese mezní předpínací síla.

#### 3.1 Délka přenosu *l<sub>pt</sub>*

V případě, že si uživatel v "Šabloně kabelů nosníku" zvolí typ výpočtu základní přenášecí délky "Automatický", výpočet této délky bude proveden podle vztahu (8.16) EN1992-1-1. Vlastní výpočet základní přenášecí délky závisí na typu předpínacích vložek, jejich průměru, poloze v průřezu, na způsobu uvolňování předpětí na napětí v předpínací vložce v okamžiku po vnesení předpětí. Typ uvolňování lze nastavit v knihovně "Předpínacích drah", obr. 3. Jednotlivé dílčí hodnoty výpočtu základní přenášecí délky lze zobrazit v dokumentu. Při vložení položky "Šablona kabelů nosníku" do dokumentu se pro každou předem předpjatou výztuž zobrazí hodnoty použité při výpočtu přenášecí délky. Tyto hodnoty se tisknou pouze v případě, pokud je vybrán v nastavení "Šablony kabelů nosníku" typ výpočtu "Automatický".

V okamžiku vnesení předpětí do betonu se v důsledku Hoyerova efektu předpokládá aktivní kotvení. Proto se uvažuje zvýšená hodnota napětí v soudržnosti  $f_{bpt}$ , ze které se vypočte

základní hodnota přenášecí délky  $l_{pt}$ . Pro výpočet napětí v soudržnosti  $f_{bpt}$  se používá hodnota pevnosti betonu v tahu v době uvolňování předpětí  $f_{ctd}(t_a)$ , protože v tom okamžiku je nejnižší. Vzhledem k riziku křehkého lomu u betonů vyšších pevností je hodnota pevnosti betonu v tahu omezena hodnotou pevnosti v tahu pro beton třídy C60/75. Pokud není použita časově závislá analýza, uvažuje se pevnost betonu v tahu ve 28 dnech. Napětí v soudržnosti pro výpočet základní přenášecí délky se vypočte dle vzorce (8.15) EN1992-1-1.



Obr.3 – Zadání pro automatický výpočet přenášecí délky

Určit přenášecí délku	Přenášecí délka – l <sub>pt</sub> [m]		Informace o přenášecí délce						
Automatický výpočet	1,31104	n., [-]	n   [-]	a1 [-]	a2 [·]	f <sub>et</sub> [MPa]	f <sub>bpt</sub> [MPa]	σ <sub>pm0</sub> [MPa]	
		3,20	0,70	1,00	0,19	1,1757	2,6335	1453,75	

Obr.4 – Parametry pro výpočet základní přenášecí délky v dokumentu



# Obr.5 – Napětí v předpínací výztuži v kotevní oblasti předem předpjatých prvků dle EN 1992-1-1

Vzhledem k tomu, že pevnost betonu je v okamžiku vnesení předpětí nejnižší, musíme za napětí  $\sigma_{pm0}$  vzít do výpočtu hodnotu před zakotvením s vlivem ztrát projevujících se před

vnesením předpětí. Pro jednotlivé posudky má být uvažována návrhová hodnota přenášecí délky jako méně příznivá z hodnot  $l_{ptl} = 0,8 l_{pt}$  (dolní) nebo  $l_{pt2} = 1,2 l_{pt}$  (horní).

#### 3.2 Kotevní délka *l<sub>bpd</sub>*

V případě posouzení mezního stavu únosnosti v průřezech, kde vzniknou trhliny (tzn. tahové napětí v betonu překročí hodnotu  $f_{ctk,0,05}$ ), je nutné dodržet minimální kotevní délku předpínací výztuže. Kotvení musí přenést sílu působící ve výztuži při mezním stavu únosnosti. Výpočet kotevní délky se provádí podle vztahu (8.21) EN 1992-1-1. V tomto vzorci vystupuje napětí v předpínací výztuži  $\sigma_{pd}$  při dosažení mezního stavu únosnosti, což v případě porušení průřezu drcením betonu není rovno návrhové pevnosti předpínací výztuže v tahu  $f_{pd}$ . V případě porušení průřezu dosažením mezního přetvoření předpínací výztuže se uvažuje za  $\sigma_{pd}$  návrhová pevnost předpínací výztuže v tahu  $f_{pd}$ . Kotevní délka vychází z horní návrhové přenášecí délky.

Hodnota napětí v soudržnosti pro výpočet kotevní délky  $f_{bpd}$  se vypočítá z návrhové pevnosti betonu v tahu ve stáří betonu odpovídající posuzované návrhové kombinaci, přičemž hodnota napětí v soudržnosti pro výpočet kotevní délky je menší než pro výpočet přenášecí délky a platí  $f_{bpt} > f_{bpd}$ . Napětí v soudržnosti pro výpočet kotevní délky se vypočte dle vzorce 8.20 EN1992-1-1.

V programu Scia Engineer rozdělujeme použití přenášecích a kotevních délek předem předpjaté výztuže v posudcích předpjatého betonu do tří skupin dle typu mezního stavu.

- Posudky mezního stavu únosnosti průřezu namáhaného kombinací normálové síly a ohybových momentů, v nichž se pro ověření dostatečné délky zakotvení použije *l<sub>bpd</sub>*, přičemž se spočítá z *l<sub>pt2</sub>*. Jde o posouzení:
  - o odezvy průřezu metodou mezních přetvoření,
  - mezní únosnosti interakčním diagramem či plochou.
- **Posudky mezního stavu použitelnosti**, v nichž se pro ověření dostatečné délky zakotvení použije nepříznivější z hodnot *l<sub>pt1</sub>* a *l<sub>pt2</sub>*. Jde o posouzení:
  - o šířky trhlin,
  - o dovolených napětí v betonu.
- **Posudky mezního stavu únosnosti**, v nichž se pro ověření dostatečné délky zakotvení použije nepříznivější z hodnot  $l_{pt1}$  a  $l_{pt2}$ . Jde o posouzení:
  - o dovolených hlavních tahů,
  - o mechanické odolnosti dutinových panelů (EN1168).

#### 3.3 Maximální přípustné napětí v předpínací výztuži

Nalézá-li se posuzovaný řez v oblasti přenášecí délky  $l_{ptl}$ ,  $l_{pt2}$  nebo kotevní délky  $l_{bpd}$ , je třeba v závislosti na typu posudku nalézt maximální přípustné napětí v předpínací výztuži, které je funkcí vzdálenosti od konce kotvení. K tomu poslouží křivky na obr. 5 označené:

- "Po vnesení předpětí" pro posudky používající hodnoty  $l_{pt1}$  a  $l_{pt2}$ .
- "V mezním stavu" pro posudky používající hodnotu *l<sub>bpd</sub>*.

Vyšší úroveň napětí v předpínací výztuži není po vnesení předpětí nebo v mezním stavu únosnosti přípustná s ohledem na nedostatečné zakotvení. Omezení napětí v předpínací výztuži se v programu zajišťuje vytvořením redukovaného pracovního diagramu pro vyšetřovaný řez  $l_x$ , viz obr. 6 a 7.

Pracovní diagramy předpínací výztuže se redukují v posudcích

- omezení trhlin
- odezvy průřezu metodou mezních přetvoření
- mezní únosnosti interakčním diagramem či plochou
- posouzení dovolených hlavních tahů
- posouzení dovolených normálových namáhání betonu



Obr.6 – Maximální možné napětí v předpínací výztuži při použití l<sub>pt1</sub> po vnesení předpětí



Obr.7 – Maximální možné napětí v předpínací výztuži při použití l<sub>bpd</sub> v mezním stavu únosnosti

Velmi detailní a konzervativní přístup přináší francouzský předpis NF P 19-202-3, DTU 23.3 P3, z roku 2006, který navazuje na EN 1992-1-1. Princip metody použité ve SCIA Engineer je popsán v [4].

# 4 DOPLNĚNÍ VÝPOČTU ZTRÁT PŘEDPĚTÍ DLE EN1992-1-1

Doposud se v programu SCIA Engineer počítala ztráta předpětí způsobená rozdílem teplot předem předpjaté výztuže a opěrného zařízení bez závislosti na normě dle **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** Tento výpočet byl doplněn o způsob výpočtu dle kapitoly 10 EN 1992-1-1. Ta uvádí doplňující pravidla pro prefabrikované dílce a montované konstrukce. V kapitole 10.5.2 je uvedeno, že při tepelném ošetřování předpjatých betonových prvků vyvolá zmenšení tahu v předpínací výztuži a omezené roztažení betonu teplotou specifickou teplotní ztrátu, jejíž

velikost lze určit pomocí vzorce (10.3) EN 1992-1-1. Zadání teplotních vstupních údajů se provádí v knihovně "Předpínací dráhy".

### 5 POSOUZENÍ SMYKOVÉHO NAPĚTÍ VE SPÁŘE SPŘAŽENÉHO PRŮŘEZU

Oproti předchozím verzím programu firmy SCIA identifikuje verze 2008 spáru spřaženého průřezu složenou z linií a křivek automaticky podle zadaného průřezu. Počet fází průřezu pro výpočet smyku ve spáře je omezen na tři.

Vlastnosti spáry se zadávají v dialogu pro nastavení spáry pro každý průřez individuálně. Do tohoto dialogu lze vstoupit přímo z "Editoru průřezu". Pro normu EN1992-1-1 je zobrazen dialog na obr. 8. V tomto dialogu má uživatel možnost vybrat typ spáry, podle něhož jsou přiřazeny parametry tření a koheze, má možnost změnit šířku spáry, nastavit úhel třmínků procházejících spárou k podélné ose prvku a zvolit, zda bude tíha prvku nad spárou brána do výpočtu únosnosti spáry či nikoliv. Poslední sloupec odkazuje do databáze pojmenovaných položek.

Opravit styky								×
		Tup stuku	- 11	mi []	l žiu stolek á "b	bi [mm]	Alfa [dea]	(lastraí tíba Imána
	1	Velmi bladi 💌	0.25	0.50	ne v	240	90.00 v	
	2	Velmi hladi 🔻	0.25	0,50	ne 🔻	240	90.00 <b>v</b> n	e ▼Joint √▼
			-,	-,				
North Contraction of the Contrac								
μ <sub>γ</sub> γ								
		_	_	_	_	_	_	
								DK Storno

#### Obr. 8 Dialog zadávání vlastností spar pro normu EN1992-1-1

V posudkovém servisu pro výpočet odezvy průřezu metodou mezních přetvoření lze spáry posoudit včetně možnosti vybrat pojmenovanou spáru a posoudit pouze vybranou spáru. V servisu pro návrh výztuže lze navrhnout výztuž nutnou na přenesení smykového napětí ve vybrané spáře. Pokud uživatel žádnou pojmenovanou spáru nevybere, bude vykreslena spára s extrémní hodnotou posudku.

Protože pro jiné normy nejsou v programu zpracovány posudky smyku ve spáře mezi betony různého stáří, zůstává pro ostatní národní normy v dialogu "Opravit spáry" jen možnost editovat šířku spáry a odkaz do knihovny pojmenovaných položek. V takovém případě se pouze vyhodnocuje normově nezávislá hodnota smykového napětí vypočtená z rozdílu normálových sil ve dvou přilehlých řezech po délce nosníku.



Obr. 9 Posouzení spáry spřaženého průřezu

# 6 AUTOMATICKÝ VÝPOČET DÉLEK PODINTERVALŮ ČASOVÉ OSY TDA

Analýza reologických účinků je v programech SCIA prováděna metodou časové diskretizace (TDA). Tato metoda je založena na postupném výpočtu v časových uzlech, kterými je časový úsek rozdělen. Napětí se předpokládá konstantní po celé délce intervalu mezi jednotlivými časovými uzly a v časových uzlech se napětí mění skokem. Se zvyšujícím se počtem časových intervalů se zvyšuje přesnost výpočtu, ale také výpočetní čas. Vhodným rozmístěním časových uzlů na časové ose lze přesnost výpočtu verzus výpočetní čas optimalizovat. Ve verzi 2008 byl doplněn automatický výpočet délek podintervalů časové osy podle uživatelsky zadaného celkového počtu časových intervalů, ve kterém je provedení časové analýzy požadováno. Časové uzly jsou hledány tak, aby přírůstky účinků dotvarování a smršťování byly konstantní. Jelikož je průběh dotvarování betonu v čase exponenciální, je použito logaritmického dělení časové osy.



Obr.10 - Rozdělení podintervalů podle uživatelsky zadaného počtu

V dialogu "Nastavení fází výstavby" je možné vybrat "Automatický výpočet podintervalů" a zadat "Celkový počet uživatelsky zadaných podintervalů, obr. 11. Tato možnost se dále také nabízí přímo v dialogu "Editace časové osy", obr. 12. Po stisknutí tlačítka "Podintervaly" se uživateli objeví dialog pro zadání celkového počtu uživatelsky zadaných podintervalů. Program rozpočítá podintervaly podle logaritmického měřítka do časové osy celé výstavby a provozu konstrukce. Nutno dodat, že celkový počet podintervalů může být vyšší než uživatelsky zadaný. Z důvodu toho, že v každé fázi výstavby musí být alespoň jeden podinterval a také vzhledem k relaxaci předpínací výztuže.

I TDA		
Součinitel zatížení pro generované zatěžovací …		
gama-dotvarování min	1,00	
gama-dotvarování max	1,00	
🗆 Čas - historie		
Okolní vlhkost [%]	70,00	
Automatický výpočet podintervalu	🖾 ano	
Celkový počet uživatelsky zadaných podintervalů	10	
🗆 Lokální časová osa		
Čas - historie		
Dkolní vlhkost [%]		70,00
Automatický výpočet podintervalu		🖾 ano
Celkový počet uživatelsky zadaných podinterv	/alů	10
Generování výstupního textového souboru		
∃ Výsledky		
Jméno gener. kombinace (max)	F{0}-MAX	
Jméno generované kombinace (min)	E{O}-MIN	

Obr.11 - Nastavení počtu podintervalů

		Mastnosti os
Posetsubintervalti		□  Číslo uzl    Zobrazit  ⊠    Barva  □    □  Časová
Carlo malnifeso	Probabas Carona era 2 2 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4	65.0 139.0 176.0 139
Carous ora fam up they injection com by that is caroup the injection com by that is caroup the	n na	30 Vypočkat
Portzolga caso va osa		Čas fáze (d 28,00 Počet subir 4 Vlhkost (%) 70,00

Obr.12 - Dialog "Editace časové osy"

# 7 NOVÉ MATERIÁLY PRO PŘEDPÍNACÍ LANA PODLE prEN10138

Standardní knihovna předpínací výztuže pro normu EN1992-1-1 byla rozšířena o nová předpínací lana podle normy prEN10138-3: Předpínací výztuž – část 3: Lana. Následující obrázek ukazuje dialog knihovny předpínacích lan pro zvolenou normu EN1992-1-1.

🖬 Materiály								
A 💱 🗶 📅 📽 🔽 🗠 🥔 🎒 📽 🕼 🛛 Předpínací Iana 🛛 💽 🖓								
Y1770S2-5,6		Į	Iméno	Y1770S2-5,6	*			
Y177052-6.0		F	<sup>3</sup> řep ínač pro výběr variant					
¥177053-7.5		Ξ	Nezávislé na normě					
V186052-4.5		1	Typ materiálu	Předpínací lano				
V106062-4,5		1.	Tepelná roztažnost [m/mK]	0.00				
Y180053-4,85		1.	Jednotková hmotnost [kg/m^3] 7850,00					
Y186053-6,5	_	1.	Modul E [MPa]	1,9500e+005				
Y1860S3-6,9	=	1	Poissonův součinitel	0,15				
Y1860S3-7,5		1	Nezávislý modul G					
Y1860S3-8,6		1	Modul G [MPa]	8,4783e+004				
Y1920S3-6,3		1	Log. dekrement	0,15				
Y192053-6.5		4	Barva		Ξ			
V196053-4.8		1	Měmé teplo [J/gK]	6,0000e-001				
V106052-5.2		4	Tepelná vodivost [W/mK]	4,5000e+001				
1190035-5,2		1	Průměr [mm]	5,6				
Y190053-0,5		1	Plocha [mm^2]	10				
Y196053-6,85	Y1960S3-6,85		prEN 10138					
Y2060S3-5,2		1.	Charakteristická hodnota maxim	17,20				
Y2160S3-5,2		1	Charakteristická hodnota smluvn	15,10				
Y1670S7-15,2		4	Celkové protažení při maximální	. 350,0				
Y1700S7G-18,0		1	Rozsah únavového napětí (Fr) [	. 190,0				
Y177057-6.9			EN 1992-1-1					
V177057-9		1	Charakteristická pevnost v tahu	1770,0				
V177057-0 3		1	Charakteristické smluvní napětí	1560,0				
11/1031-5,5		1	Charakteristické poměmé přetvo	350,0				
Y1//05/-9,6		4	Součinitel duktility (k = fpk / fp0	1,13				
Y1770S7-11		1	Návrhová mez kluzu - trvalá (fpd	1356,5				
Y1770S7-12,5		1	Návrhová mez kluzu - mimořádn	1560,0				
Y1770S7-12.9	Ŧ		Limit návrhového poměrného př	315,0	Ŧ			
Nový Vložit (	Oprav	/it	Smazat	Zavř	ît			

Obr.13 Dialog knihovny materiálů

# 8 ZADÁNÍ DODATEČNĚ PŘEDPJATÝCH KABELŮ POMOCÍ REFERENČNÍ KŘIVKY SE ZDROJOVOU GEOMETRIÍ

Zadání geometrie kabelu bylo až do verze 2008 včetně možné provádět pouze dvěma způsoby:

- *Přímým zadáním*, což je vlastně "kreslení" kabelu v 3D okně, které je vhodné zejména v případě kabelů jednoduché geometrie.
- Zadáním pomocí *zdrojové geometrie* kabelu.

Ve verzi 2008.1 byla doplněna další možnost zadání:

• Zadáním pomocí referenční křivky se zdrojovou geometrií.

Pro vysvětlení zavedeme některé další pojmy. *Zdrojová geometrie* SG (Source Geometry) je je aproximační křivka (skupina bodů), která se získá superpozicí tzv. definované geometrie DGz a definované geometrie DGy. *Definovaná geometrie* DGz, DGy je průmět zdrojové geometrie do rovin XZ a XY. Jde o křivky v XZ a XY s parametry, které nesou informace o typech křivek, poloměrech oblouků, ...,

*Referenční křivka* RL je křivka, která v obecném případě určuje křivkovou souřadnici x lokálního souřadného systému kabelu. K této rozvinuté křivkové souřadnici se vztahuje zdrojová geometrie. Až do verze 2008 používal program jako referenční křivku pouze střednici vybraného nosníku. Ve verzi 2008.1 lze zvolit libovolnou uživatelsky zadanou

křivku. *Finální geometrie* FG je potom vypočtena transformací zdrojové geometrie svinutím rozvinuté referenční křivky zpět do původního tvaru. Jde buď o aproximační křivku (skupinu bodů), nebo křivku s parametry. Při transformaci platí:

- Pokud je zdrojová geometrie kabelu delší než referenční křivka, tak geometrie kabelu pokračuje i za koncem referenční křivky až do délky zdrojové geometrie; směr geometrie kabelu za koncem referenční křivky je dán směrnicí posledního bodu referenční křivky.
- Pokud je zdrojová geometrie kabelu kratší než referenční křivka, tak zdrojová geometrie kabelu se navine na referenční křivku pouze do vyčerpání délky zdrojové geometrie.

Dodatečně předpínaný kabel							
		Jméno	KBL				
		Popis					
		Číslo	1				
		Тур	Se soudržností				
l   +-──∽ns   🥯 🔘 ng		Vrstva	Vrstva1				
	Ξ	Geometrie	-				
		Zadání geometrie	Přímé zadání 🔹 👻				
		Průmět mezilehlých bodů	Přímé zadání				
		LSS	Zdrojová geometrie				
		Materiál	Reference line with source geometry				
		Materiál	Y1860C-3,0 💌				
		Počet prvků v kabelu	1				
		Počet kabelů ve skupině	1				
		Plocha [mm^2]	7				
		Průměr kanálku [mm]	60,00				
		Zatěžovací stav	LC1 💌				
		Přednínání	•				
AKce							
Základní hodnoty							
DK Storno							

#### Obr.14 Zadání typu geometrie

Příkladem nového způsobu zadání je předpínací kabel ve tvaru šroubovice alokovaný na válcovou skořepinu (model předpínací výztuže nezávislé na MKP uzlech). Referenční křivka je zadána jako kružnice v základně válce. Zdrojová geometrie je v půdoryse i náryse přímka, stoupání šroubovice je zajištěno zadáním nenulové souřadnice ve svislém směru, viz obr. 16.



Obr.15 Předpínací kabel ve tvaru šroubovice



Obr.16 Zdrojová geometrie předpínacího kabelu ve tvaru šroubovice



Obr.17 Ukázka výsledných účinků předpínacího kabelu ve tvaru šroubovice

Při zadání kabelu je třeba respektovat jistá omezení. Program Scia Engineer 2008.1 není schopen vypočítat ztráty a generovat kabel v případě, že v kartézské souřadné soustavě XYZ, jejíž osa X vznikne jako spojnice prvního a posledního bodu kabelu, je pro jeden bod X nalezeno více než jeden bod kabelu.

# 9 MODEL PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE NEZÁVISLÉ NA MKP UZLECH PRO ELEMENTY 2D, KTERÉ NELEŽÍ V JEDNÉ ROVINĚ

Ve verzi programu 2008.1 byl rozšířen model předpětí, při kterém jsou kabely modelovány nezávisle na MKP uzlech ("hanging nodes"). Vznikla tak možnost aplikovat dodatečně předpjaté kabely přímo (bez nutnosti definovat fiktivní prut 1D) i na elementy 2D, které

neleží v jedné rovině. Příkladem takové konstrukce je válcová skořepina na obrázcích 15 až 17. Tento model však lze použít i v oblasti styku dvou desek, které neleží v jedné rovině (a tedy jejich povrchové křivky nejsou hladké). Přestože je tento model předpětí pro desky omezen pouze na "kolmé promítání", v oblasti styku dvou různoběžných desek se kabel promítne na prvek "proporcionálně", podrobněji o kolmém a proporcionálním promítání viz [5].

Jednoduché ověření bylo provedeno na dvou deskostěnových modelech výseku komorového průřezu. Oba modely byly předepnuty kabely o stejných vlastnostech ve stěnách a spodní desce. Poloha kabelů byla excentrická vně 0,2m vzhledem ke střednici prvku. První model byl předepnut vždy dílčími kabely v jednotlivých stěnách a spodní desce. Druhý model byl předepnut průběžným kabelem jdoucím přes všechny tyto části.



Obr. 18 Dva modely pro ověření správnosti řešení



Obr.19 Srovnání modelů - průhyby uy a uz



Obr.20 Srovnání modelů - normálové síly n<sub>v</sub> a ohybové momenty m<sub>v</sub>
Na obou modelech byly ověřovány deformace a vnitřní síly od předpětí. Srovnání průběhu průhybů  $u_y$  ve stěnách a  $u_z$  v deskách je patrné z obr. 19. Normálové síly  $n_y$  a ohybové momenty  $m_y$  od předpětí jsou zobrazeny na obr. 20. Z obrázků je vidět že všechny vyšetřované hodnoty jsou téměř totožné.



# Obr.21 Aplikace rozšířeného modelu předpětí pro analýzu podélného předpětí komorového nosníku

### LITERATURA

[1] EN 1992-1-1 Eurocode 2, Design of Concrete Structures – Part 1: General rules and rules for buildings, European Committee for Standardization, December 2004
[2] EN 1992-2 Eurocode 2: Design of Concrete Structures – Concrete bridges – Design and detailing rules, CEN, Brussels, 2005
[3] EN 1168 Precast concrete products - Hollow core slabs, European Committee for Standardization, May 2005
[4] NAVRÁTIL, J., Předpjaté betonové konstrukce. 2. vydání, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2008, 186 s.
[5] NAVRÁTIL, J. Předpjaté betonové konstrukce v ESA PT 2007.1, In: zborník z 7. seminára s medzinárodnou účasťou "Modelovanie stavebných konštrukcií 2007", Tatranská

Štrba, Slovakia, Žilinská universita v Žilině, EDIS, 2007, p. 29-45

[6] NF P 19-202-3 Norme francaise, DTU 23.3 P3, juillet 2006

# AUTOSTRADA A2 – OBCHVAT MINSK-MAZOWIETSKY (POĽSKO), MODELOVANIE MOSTOV PODĽA EUROCODE

### Ing. Adrián Sedlák

DOPRAVOPROJEKT a.s., Kominárska 2,4, 832 03 Bratislava

# 1 TECHNICKÉ RIEŠENIE MOSTOV

### 1.1 Úvod

Firma DOPRAVOPROJEKT a.s. je členom medzinárodného konzorcia firiem, ktoré sa podieľalo na kompletnej projektovej dokumentácii stavby "OBWODNICA MIŃSKA - MAZOWIECKIEGO NA PARAMETRACH AUTOSTRADY" dĺžky cca. 20,0km. Stavba sa nachádza východne od Varšavy. V rámci konzorcia, firma Dopravoprojekt a.s. mala za úlohu naprojektovať všetky inžinierske konštrukcie, v tomto príspevku sa budeme zaoberať vybranými mostmi s označením MA-13 a WD-04.



Obr. 1 – Umiestnenie stavby

### 1.2 Nosná konštrukcia a spodná stavba

<u>Most MA-13</u>: Most sa nachádza na diaľnici a skladá sa z dvoch úplne identických mostov so šírkou 17,15m. Po statickej stránke sa jedná o monolitickú, betónovú dodatočne predpätú konštrukciu s rozpätím 28+36+28m, celkovej dĺžky 93,2m. V priečnom reze sa jedná o trojtrám s výškou trámu 1,87m. Trámy sú nad podperami a oporami spojené priečnikmi. Most má 2 medziľahlé stenové podpery a 2 krajné opory. Zakladanie mosta je na pilótach.





<u>Most WD-04</u> : Most sa nachádza nad diaľnicou, šírka mosta je 13,55m. Po statickej stránke sa jedná o monolitickú, betónovú dodatočne predpätú konštrukciu s rozpätím 20+26+26+20m, celkovej dĺžky 93,2m. V priečnom reze sa jedná o dvojtrám s výškou trámu 1,55m. Trámy sú nad podperami a oporami spojené priečnikmi. Most má 3 medziľahlé stenové podpery a 2 krajné opory. Zakladanie mosta je plošne.

### 1.3 Použité materiály

Použité materiály v nosnej konštrukcii : betón C35/45 /B500/, betonárska výstuž 10505(R) a predpínacie káble 15 lanové Ls 15,5-1770MPa. Základné ukazovatele množstva použitého materiálu:

		nosná konštrukcia					
Názov mosta	Typ nosnej konštrukcie	betón	predpínacie káble	betonárska výstuž NK			
		$[m^{3}/m^{2}]$	[ kg/m <sup>2</sup> ]	$[kg/m^2]$			
MA-13	trojtrám	0.74	30	80			
WD-04	dvojtrám	0.60	26	80			

# 2 METODIKA VÝPOČTU

### 2.1 Súčasný stav platnosti noriem a výber metodiky výpočtu

V súčasnosti platia pre navrhovanie konštrukcií v Európe národné normy (pre Slovensko STN) a aj Eurocode. Vec výberu normy pre navrhovanie konštrukcií je dohodou investora a projektanta. Vo väčšine prípadov sa stále používajú pre návrh konštrukcií národné normy. Všetky členské štáty sa zaviazali na zrušenie národných noriem najneskôr do 31.3.2010, takže od 1.4.2010 bude jedinou platnou normou Eurocode.

Pre výpočet daných mostov (MA-13,WD-04) sme mali na výber medzi poľskými normami a Eurocode, rozhodli sme sa pre Eurocode.

### 2.2 Eurocode – normy, kombinácie, posudky

Zoznam základných častí Eurokódu pre návrh a posúdenie mostov (všetky časti "základných" noriem ešte upravujú národné prílohy - NA, pre jednotlivé členské štáty) :

1. 1990 Eurokód: Zásady navrhovania

Zmena A1: Príloha A2: Mosty

2. 1991 Eurokód 1:

Časť : 1-1 Zaťaženia konštrukcií

Časť : 1-4 Zaťaženie vetrom

Časť : 1-5 Zaťaženia účinkami teploty

Časť : 1-6 Zaťaženia počas výstavby

Časť : 2 Zaťaženia mostov dopravou

3.1992 Eurokód 2:

Časť : 1-1 Navrhovanie betónových konštrukcií

Časť : 2 Betónové mosty

Pre špecialistov na inžinierske konštrukcie (mosty) je prechod z STN na Eurocode, komplikovanejší v tom, že STN normy sú založené na teórii dovolených namáhaní pričom Eurocode sú založené na teórii medzných stavov.

Eurocode pre mosty vyžadujú základné posudky :

A) Medzný stav únosnosti (MSÚ, angl. ULS) – slúži na výpočet betonárskej výstuže, pri výpočte dimenzačných hodnôt, zanedbávame vplyv reológie betónu a zaťaženie účinkami teploty (vplyv nerovnomerného oteplenia, resp. ochladenia nosnej konštrukcie mosta).

Dimenzačné hodnoty =  $\sum \gamma_{G,i} \mathbf{G}_{k,i} + \gamma_P \mathbf{P} + \gamma_{Q,1} \mathbf{Q}_{k,1}$ 

γ <sub>G,i</sub> , γ <sub>P</sub> , γ <sub>Q,1</sub>	parciálne súčinitele
$\mathbf{G}_{k,i}$	stále zať.(vl. tiaž, dlhodobé zať., nerovnomerné sadanie podpier)
P	predpätie
$\mathbf{Q}_{k,1}$	zaťaženie od dopravy (hlavné premenné zaťaženie = TS+UDL)
	TS = Tandem System (dvojnápravové sústredené zaťaženie)
	UDL = Uniform Distributed Load (rovnomerné plošné zaťaženie)

B) Medzný stav používateľnosti (MSP, angl. SLS) – slúži na výpočet predpínacej výstuže a definovanie výsledného tvaru prierezu. Vo výpočtoch konštrukciu posudzujeme na 2 kombinácie zaťažení:

Charakteristická kombinácia (dim. hodnoty) =  $\sum \mathbf{G}_{k,i} + \mathbf{P} + \mathbf{Q}_{k,1} + \psi_0 \mathbf{Q}_{k,2}$ Častá kombinácia (dim. hodnoty) =  $\sum \mathbf{G}_{k,i} + \mathbf{P} + \psi_1 \mathbf{Q}_{k,1} + \psi_2 \mathbf{Q}_{k,2}$ 

$\mathbf{G}_{k,i}$	stále zať.(vl. tiaž, dlhodobé zať., nerovnomerné sadanie podpier)
Р	predpätie
$\mathbf{Q}_{k,1}$	zaťaženie od dopravy (hlavné premenné zaťaženie = TS+UDL)
	TS = Tandem System (dvojnápravové sústredené zaťaženie)
	UDL = Uniform Distributed Load (rovnomerné plošné zaťaženie)
$\mathbf{Q}_{k,2}$	zaťaženie účinkami teploty (ostatné premenné zaťaženie)

Pri výpočte dimenzačných hodnôt charakteristickej kombinácii zaťažení počítame s plným zaťažením od dopravy  $\psi$ =1,0 pre TS+UDL (pre pozdĺžny smer je najvhodnejší zaťažovací model LM1) a zaťaženie účinkami teploty redukujeme o 40% ( $\psi_0$ =0,6).

Pri výpočte dimenzačných hodnôt častej kombinácii zaťažení počítame s redukovaným zaťažením od dopravy  $\psi_1=0,75$  pre TS,  $\psi_1=0,40$  pre UDL a zaťaženie účinkami teploty redukujeme o 50% ( $\psi_2=0,5$ ).

### **3 MODELOVANIE V PROGRAME SCIA-ENGINEER**

### 3.1 Model a zadanie káblov

Zo statického hľadiska sú obe konštrukcie mostov "logicky príbuzné" – zadaním zaťažení, káblov, postupu výstavby a celkovými výsledkami. V ďalšej časti príspevku sa budeme zaoberať mostom s označením WD-04, jedná sa o dvojtrám s rozpätím polí 20+26+26+20m. Posúdenie hlavných prierezov a návrh predpätia bol urobený na prútovom modeli. Účinky priečneho roznosu boli spočítané na dosko - prútovom modeli, tento vplyv bol následne zohľadnený v prútovom modeli zväčšením zaťažení.

Zadanie modelu plne odpovedalo postupu výstavby nosnej konštrukcie mosta, etapovitosť výstavby bola zadaná vo fázach výstavby s zadaním jednotlivých časov pre betonáž, predpätie, oddebnenie, ...

 $\mathbf{G}_{k,i}$  = stále zať.(vl. tiaž, dlhodobé zať., nerovnomerné sadanie podpier)

- **P** = predpätie (káble boli zadané s zohľadnením spojkovania max. 50% káblov v pracovnej škáre obr.5)
- $\mathbf{Q}_{k,1}$  = zaťaženie od dopravy (pozri kap. 3.2)
- $\mathbf{Q}_{k,2}$  = zaťaženie účinkami teploty (lineárny priebeh po výške prierezu +10,5°C resp. -8°C)



Obr. 4 – Perspektívny pohľad na model



#### 3.2 Zadanie zaťažovacích sústav

Konštrukciu je potrebné posúdiť na účinky zaťaženia od dopravy pre charakteristickú a častú kombináciu (pozri kap. 2.2), pričom pre každú kombináciu sa uvažuje s rozdielnymi koeficientmi  $\psi$ , ktoré ovplyvňujú hodnoty zaťažení.

Pri zadaní zaťažovacej sústavy, program SCIA-ENGINEER neberie do úvahy, že zaťaženie silami predstavuje TS (Tandem System) a spojité zaťaženie predstavuje UDL (Uniform Distributed Load) v zmysle EN. Preto najjednoduchším riešením je zadať 2 zaťažovacie

sústavy, v ktorých zadané hodnoty (sily, spojité zaťaženie) rovno predstavujú plné resp. redukované hodnoty v zmysle EN.

Pohyblivá zaťažovacia sústava			×
≠ <b>∓ 2 ° €</b> k   <u>2</u> 2   <b>8</b>   <b>6</b> 6 6 8	Všetko	• 7	
DB2_char DB3_cast	-750	-750	
Za	čažovacia sústava		×
Názov DB2_char	ednoduchá zaťažovacia sústava Rozšíren	ná zaťažovacia sústava	
	Názov		
	DB2_char		
	Percento odi ancenia	0	
	spojité zaťaženie salilele zalazenie		
	48 kN/r	750	
Nový Vlož Opravit Zmazať,	75500 1.20 275000 1.20 0.00		<u></u>
	Počet skupín: 1 🛨 Maž všetko	1.200	1
1	Jedna skupina zaťaženia		
	Prerušenie spojitého zaťaženia v bode	skupiny osamelých zaťažení	
	Prerusene zafazenie 0 kň	N/m	
	Zaciatok prerušenia U.UUU m	Koniec prerušenia U.000	m
		OK	Zrušiť Použíť

Obr. 6 – Zadanie zaťažovacích sústav pre charakteristickú a častú kombináciu

### 3.3 Fázy výstavby – nastavenie kombinácií

Model bol zadaný s zohľadnením kompletného postupu výstavby nosnej konštrukcie a zadaním časov pre jednotlivé fázy.

Zoznam zadaných fáz výstavby je nutné podriadiť norme, podľa ktorej sa model posudzuje a časom jednotlivých posudkov. Pre mosty sú limitné 2 časy posudkov (okrem výstavby mosta) :

- spustenie do prevádzky (v bežných prípadoch to býva 1 rok)
- koniec životnosti mosta (v zmysle noriem sa uvažuje 100 rokov)

v zmysle Eurocode musíme posúdiť konštrukciu na medzný stav únosnosti (MSÚ, angl. ULS) a medzný stav používateľnosti (MSP, angl. SLS), takže pre kompletné posúdenie modelu potrebujeme zadať minimálne 6 fáz výstavby :

٠	Charakteristická kombinácia, čas=1 rok		"SLS.Char=1rok"
•	Častá kombinácia, čas=1 rok		"SLS.Cast=1rok"
•	Medzný stav únosnosti, čas=1 rok		"ULS=1rok"
•	Charakteristická kombinácia, čas=100 rokov		"SLS.Char=100rokov"
•	Častá kombinácia, čas=100 rokov		"SLS.Cast=100rokov"
•	Medzný stav únosnosti, čas=100 rokov		"ULS=100rokov"
70	daní fáz výstavby je netrobné pre koždú fézy vý	stauby daf	inavat' a ala'ı druh nagudla

Pri zadaní fáz výstavby je potrebné pre každú fázu výstavby definovať o aký druh posudku sa bude jednať pri posúdení modelu (EN-MSÚ, EN-MSP char., EN-MSP frekv.) pozri obr. 7.

📑 Fázy	výstavby					×
<mark>,1</mark> 달	🧶 📐	<u>n</u> 2	2	🞒 Všetky	• 7	
STI - I.etapa_bet ST2 - I.etapa_predp ST3 - II.etapa_predp ST5 - III.etapa_predp ST6 - III.etapa_bet ST6 - III.etapa_predp ST7 - IV.etapa_bet ST8 - IV.etapa_predp ST9 - Sadanie - I.ćasť		Názov Poradie fázy Popis Čas fázy [deň] Počet subintervalov Vlhkost [%] Posledná fáza výstavby Stále alebo dlhodobé zaťaženie	ST14 14 SLS.Char=1rok 364.00 1 70.00			
5T10 - ST11 - ST12 - ST13 - ST14 - ST15 - ST16 - ST17 - ST18 - ST19 -	Sadanie-2.6 Sadanie-3.č Sadanie-4.č Dlhodobe SLS.Char=1 SLS.Cast=1 ULS=1rok SLS.Char=1 SLS.Cast=1 ULS=100rol	tasť žasť Irok Irok 100 I00 kov		Zaťaženie Typ generovaných kombinácií Premenné zaťaženie LC20 - Teplota +10.5 [-] LC21 - Teplota +8.0 [-] F1-DB2_char-Min Vz [-] F1-DB2_char-Min Vy [-] F1-DB2_char-Max Vz [-] F1-DB2_char-Max Vy [-]	LC14 - SLS.Char=1rok EN-MSP char. Normovo nezávislá EN-MSÚ EN-Mimoriadne 1 EN-Mimoriadne 2 EN-Seizmické EN-Seizmické EN-MSP char. EN-MSP frekv. EN-MSP kvázi. Všetky normovo závislé - MSÚ Všetky normovo závislé - MSÚ	▼ ▼
			Ak P	cie remenné zaťaženie	Všetký normovo závislé Všetky	
Nový	Vlož	Oprav	vit	Zmazať		Zavrieť

Obr. 7 – Fázy výstavby (nastavenie druhu posudku)

### 3.4 Posúdenie konštrukcie – možnosti posudkov

Po spustení výpočtu pomocou TDA sa v záložke "Betón" zobrazia možnosti jednotlivých posudkov. Model bol posúdený v jednotlivých fázach (pozri kap. 3.3).

V zmysle EN 1992-2 čl.7.2 a čl.7.3 model s návrhom predpätia musí spĺňať podmienky:

- I.) max. tlak v betóne pri charakteristickej komb.
- II.) max. ťah v betóne pri charakteristickej komb.
- III.) max. ťah v betóne pri častej komb.
- $\sigma_{cq.min} \leq 0.6 f_{ck}$  $\sigma_{cq.max} \leq f_{ctm}$
- $\sigma_c \leq 0$  MPa ("dekompresia")  $\sigma_p \leq 0,75 f_{pk}$

IV.) napätia v predpínacej výstuži Pre návrh a posúdenie prierezu sú limitnými podmienkami I.) a III.). Eurocode požaduje vyššiu mieru bezpečnosti návrhu konštrukcií a splnenie podmienky III.) vyžaduje návrh iba plného predpätia (v zmysle STN). Subtílnejšie konštrukcie, navrhnuté na obmedzené resp. čiastočné predpätie (v zmysle STN) nebude možné pri návrhu podľa Eurocode ďalej navrhovať. Vo všeobecnosti je možné konštatovať, že návrh podľa Eurocode oproti STN

vyžaduje nárast cca. 10% predpínacích káblov.



Obr. 8 – Možnosti pri posúdení konštrukcie

### 3.5 Práca s dokumentom

Tabuľky v dokumente sú interaktívne prepojené s modelom. Zmena urobená v tabuľkách sa premietne do modelu, hlavnú výhodu to má pri zadaní rôznych verzií počtu predpínacích káblov.

Priebeh napätí v betóne pri hornom resp. dolnom povrchu v jednotlivých fázach výstavby je možné ukladať do dokumentu. Po výpočte TDA je potrebné spustiť regeneráciu dokumentu, čím sa aktualizujú všetky výsledky a je možná okamžitá kontrola daného návrhu káblov.

🌾 Scia Engineer - [041.esa : 2]							
R Súbor Edit Pohľad Nastavenie Okno Nápove	da						
	- 🛛 🕅 🖾 🕅	$\sim$					
DOC-Default	1. Load cases	Chriova	obrázkov				
Default	Name	Description	Action type	LoadGroup	Load type	Spec	
Zaťažovacie stavy (Load cases)	00.1	Kable I.Etapa	Permanent	G0_Stale	Prestress		
Zaťażovacie skupiny (Load groups)	00.2	Kable II. Etapa	Permanent	G0_Stale	Prestress		
Triedy výsledkov (Result classes)	00.3	Kable III.Etapa	Permanent	G0_Stale	Prestress		
Fazy vystavby (Construction stages)	00.4	Kable IV.Etapa	Permanent	G0_Stale	Prestress		
Dodatocne predpaty kapel (Internal tendons)	LC1	I.Etapa-Betonáž	Permanent	G0_Stale	Self weight		
Vystavba-sig.b_norny povrch (1)	LC2	I.Etapa-Predpätie	Permanent	G0_Stale	Standard		
Chan least task have deles (Obvésel)	LC3	II.Etapa-Betonáž	Permanent	G0_Stale	Self weight		
Charlkomb trak dalag visika (Obrázik)	LC4	II.Etapa-Predpätie	Permanent	G0_Stale	Standard		
Charliconio-Trok_doine viakita (Obrazok)	LC5	III.Etapa-Betonáž	Permanent	G0_Stale	Selfweight		
Charl.komb-100rokov_norne vlakna (Obrazok)	LC6	III.Etapa-Predpätie	Permanent	G0_Stale	Standard		
Cast loss fuel, here utakas (Obrazok)	LC7	IV.Etapa-Betonáž	Permanent	G0_Stale	Self weight		
Cast least fuely delay violate (Obvicel)	LC8	IV.Etapa-Predpätie	Permanent	G0_Stale	Standard		
Cast Jone 100 along Vakha (Obrázok)	LC9	Sadanie-1.časť	Permanent	G0_Stale	Standard		
Cast komp-100rokov_horne vlakna (Obrazok)	LC10	Sadanie-2.časť	Permanent	G0_Stale	Standard		
Cast.komp-100rokov_dolne vlakna (Obrazok)	LC11	Sadanie-3.časť	Permanent	G0_Stale	Standard		
	LC12	Sadanie-4.časť	Permanent	G0_Stale	Standard		
	LC13	Dlhodobé zať.	Permanent	G0_Stale	Standard		
	LC14	SLS.Char=1rok	Permanent	G0_Stale	Standard		
	LC15	SLS.Cast=1rok	Permanent	GO Stale	Standard		

Obr. 9 – Práca s dokumentom

Takto vytvorený dokument s zadanými tabuľkami a grafmi tvorí "šablónu", ktorú je možné použiť, pre modely podobného typu (rozpätie, tvar priečneho rezu).

### 3.6 Záver

Program SCIA-ENGINEER umožňuje kompletné zadanie modelu a posúdenie podľa Eurocode, okrem posúdenia betónových mostov na únavu podľa EN 1992-2 príloha KK. Verím, že autori daného programu doplnia tento modul pre výpočet mostov v krátkom čase.

### LITERATÚRA

- [1] 1990 Eurokód
- [2] 1991 Eurokód 1
- [3] 1992 Eurokód 2

# ŠKRUPINOVÉ KONŠTRUKCIE – MODELOVANIE, VÝPOČET, VYHODNOTENIE VÝSLEDKOV A PEVNOSTNÉ POSÚDENIE

### Ing. Daniel Bukov

Ing.Daniel Bukov, OK TEAM Budatínska 31, 851 05 Bratislava

# 1 ÚVOD

Škrupinové konštrukcie v technickej praxi nachádzajú široké uplatnenie od konštrukcie lietadiel po stavebné konštrukcie škrupinových základov. Široký záujem technickej praxe vyvolával potrebu efektívneho návrhu škrupiny, ktorý musí spĺňať predpísanú mieru spoľahlivosti z hľadiska mechanickej odolnosti. Škrupinové konštrukcie môžeme rozdeliť na tenkostenné, hrubostenné, hladké a vystužené. Výpočet napätosti v škrupinách je možné v súčasnosti realizovať analytickými metódami pokiaľ existuje analytické riešenie alebo numerickými metódami , ktoré sú založené prevažne na metóde konečných prvkov (MKP). Analytické riešenia sú závislé na tvare riešenej oblasti, okrajových podmienkach, spôsobe zaťaženia a prevažne existujú pre rotačne symetrické škrupiny bez otvorov a s rotačne symetrickými okrajovými podmienkami. Metóda konečných prvkov je nezávislá na tvare riešenej oblasti, okrajových podmienkach, poskytuje možnosť riešenia rôznych tvarov škrupín vrátane vystuženia, okrajových podmienok a foriem zaťaženia.

### 1.1 Hladké škrupiny (nevystužené škrupiny)

Pre modelovanie škrupín môžeme vo všeobecnosti použiť rovinné prvky a zakrivené prvky. Medzi zakrivenými prvkami sú prvky valcových škrupín alebo izoparametrické prvky, ktoré používajú pre aproximáciu geometrického tvaru tie isté bázové funkcie ako pre aproximáciu neznámych parametrov. Na obr.1 je znázornený izoparametrický prvok, ktorý používa pre aproximáciu geometrie deväť uzlov a neznáme parametre sú aproximované iba v štyroch uzloch. Prvkom sa dá dobre vystihnúť geometrický tvar oblasti.





Výpočtový systém SCIA Engineer používa pre aproximáciu oblastí rovinné prvky, pre vystihnutie tvaru zakrivených plôch je preto potrebné použiť primerane husté delenie oblasti. Nevýhoda potreby použitia hustého delenia je v systéme SCIA Engineer bohato vyvážená možnosťami modelovania škrupín a ich prienikov, čo vo väčšine systémov chýba. Výpočtové programy v prevažnej väčšine ponúkajú pre modelovanie škrupín plošné prvky s výnimkou špecializovaných programov alebo programov s veľkými knižnicami konečných prvkov. Na Obr. 2 je príklad výpočtu hladkej škrupiny.

### 1.1.1 Výpočet hladkej škrupiny

Výpočtový model nádrže je vytvorený v prostredí programu SCIA Engineer s využitím plošných prvkov pre model plášťa a jeho zosilnení, a prútových prvkov pre model podpier nádrže. Pre danú nádrž bola riešená odozva na statické zaťaženie dané tlakom, teplotou a dynamické zaťaženie tvorené seizmicitou. Odozva na seizmické zaťaženie bola riešená metódou lineárnych spektier odozvy.

Výpočtový model je vytvorený z dosko-stenových prvkov pomocou rotačne symetrických škrupín. Zosilnenia valcovej škrupiny límcami sú modelované ako paralelné škrupiny "orezané" prienikom valcovej škrupiny ktorej os je v osi hrdla a priemer zodpovedá priemeru límca. Hrúbka valcovej škrupiny zodpovedá účinnej hrúbke zvaru límca. "Orezom" je potom orezaná časť pred límcom a za plášťom nádrže čím vznikne prepojenie límca a plášťa nádrže zodpovedajúce realite. Podobným spôsobom je možné modelovať všetky podobné prieniky



Obr.2 Výpočtový model nádrže

Pre výpočet odozvy na seizmické zaťaženie sú možné dva postupy. Prvý postup využíva pre model kvapaliny pomocou fluidných prvkov (Scia Engineer zatiaľ fluidné prvky neobsahuje) a rieši odozvu na seizmické zaťaženie ako odozvu na budenie akcelerogramami. Akcelerogramy musia byť kompatibilné so spektrami odozvy pre danú oblasť. V prostredí programu Scia Engineer je možné odozvu riešiť s využitím metódy lineárnych spektier odozvy. Pre modelovanie prídavnej hmoty od kvapaliny je možné využiť niektoré normové vzťahy, ktoré sú uvedené v EC8 alebo v iných normách a literatúre. Prídavnú hmotu je potrebné vhodným spôsobom spojiť s plášťom nádrže tak, aby sa zachovalo jej pôsobisko a aby zároveň nedošlo k ovplyvneniu pôsobenia nádrže čo do tuhosti a celkového pôsobenia. Jedným z možných pripojení je využitie vhodne koncipovanej diafragmy tvorenej plošným prvkom, sústavou väzieb parametrov alebo s využitím prútov. Hydrodynamický tlak je potom možné vypočítať na základe získaného zrýchlenia a normových vzťahov. Zaťaženie sa potom do výpočtu zavedie ako tlak na plášť.

Pri tenkostenných škrupinách, kde prevláda hlavne membránová napätosť ( nádrže veľkých priemerov, škrupiny s veľkou štíhlosťou), dochádza v miestach pripojenia zmeny tuhosti k porušeniu membránového stavu a tým k značnej koncentrácii napätí, ktoré však rýchlo doznievajú. Hustota siete v radiálnom smere musí byť primeraná , tak aby napätia od ohybových momentov vznikajúcich na hrane tvoriacich priamok boli zanedbateľne resp. rozumne malé. Podobne v miestach prienikov (zvarov límcov, zmeny krivosti ) dochádza ku koncentráciám napätí, ktoré je potrebné vyhodnotiť v zmysle noriem a predpisov pre navrhovanie nádrží resp. tlakových nádob.

Tieto predpisy sú obyčajne založené na klasifikácií napätí, čo do pôvodu v zmysle druhu zaťaženia, ako aj podľa mechanického namáhania, ktoré napätie vyvolalo (membránové, ohybové alebo šmykové namáhanie). V programe SCIA Engineer nie je možné zobraziť zvlášť napätia od rôznych druhov namáhaní (membránové, ohybové, šmykové) tieto napätia si môže užívateľ vypočítať na základe vnútorných síl pomerne jednoducho ručne alebo využitím externého pripojenia napr. v prostredí EXCEL alebo MathCad.

### 1.2 Výpočet škrupiny s výstuhami

Výpočtový model škrupiny s výstuhami sa v zásade nelíši od výpočtu škrupiny bez výstuh. Výstuhy škrupín môžu byť v prostredí Scia Engineer modelované pomocou doskostenových prvkov, prútovými prvkami s využitím excentricít alebo s použitím vhodnej formy ortotropie.

Modelovanie pomocou doskostenových prvkov je vhodné tam kde výstuhy hlavne v oblasti podoprenia svojimi rozmermi skôr tvoria samostatnú časť škrupiny. Ako príklad uvediem korýtkové výstuhy na malé rozpätia.

Výpočtový model debnenia je tvorený dosko-stenovými prvkami v rozsahu debniaci plech výstuhy, steny oblúkových segmentov, oká spojenia a úpravy v mieste uloženia segmentu. Prútové prvky sú použité na modelovanie výstužného systému spojenia segmentov . Pre modelovanie zaťaženia tlakom betónovej zmesi boli použité voľné zaťaženia. problémom Hlavným zavedenia voľných zaťažení na škrupinu je určenie prvkov, na ktoré bude zaťaženie pôsobiť.

V prípade vynechania časti prvkov alebo nesprávneho zadania symetrického zaťaženia dochádza k porušeniu symetrie a výsledky sú nereálne hlavne v oblasti celkových deformácií debnenia. Okrajové podmienky sú modelované tak, aby debnenie nebolo pevne podopreté na protiľahlých stranách. Pre vyhodnotenie napätí a posúdenie únosnosti bola použitá STN 73 0014.





Obr.3 Výpočtový model debnenia



Ďalší výpočtový model je modelom vonkajšieho segmentu debnenia.



Obr.4 Výpočtový model segmentu



Obr.5 Výpočtový model škrupiny s prútovými výstuhami

V mnohých prípadoch je vhodnejšie použiť jednotlivé výpočtové modely ako celý komplexný model. V komplexnom modeli je často zbytočne komplikované vystihnúť podstatné časti. V čiastkovom modeli je potom možné detailnejšie modelovať časti , ktoré majú na únosnosť podstatný vplyv.

Ďalšou možnosťou vytvorenia výpočtového modelu škrupiny je modelovanie výstuh pomocou excentricky umiestnených výstuh tvorených prútovými prvkami. Pri zadaní výstuh je požadované zadať šírku spolupôsobiacej škrupiny pre posúdenie a pre výpočet vnútorných síl. Pre posúdenie je potom vybratý prútový prvok s parametrami prvku zloženého z časti škrupiny a prútového prvku. Pre výpočet vnútorných síl môže byť použitá rozdielna šírka napr. vzdialenosť výstuh.

Pri pomerne hustom vystužení je možné pre modelovanie škrupiny použiť aj ortotropiu. Pomocou ortotropie je možné zadať parametre škrupiny resp. dosko-steny tak, aby reprezentovali reálnu škrupinu.

# 2 ZÁVER

Modelovanie škrupín s výstuhami alebo hladkých škrupín je v prostrední programu SCIA Engineer možné niekoľkými spôsobmi. Vhodnosť vybraného spôsobu tvorby výpočtového modelu závisí od druhu konštrukcie, jej konštrukčného riešenia ale hlavne od statika, ktorý tvorí výpočtový model a zodpovedá za spoľahlivosť návrhu. V príspevku sú stručne naznačené možnosti tvorby výpočtového modelu ako aj vhodnosti jeho použitia.

### LITERATÚRA

- [1] Manuály k programu SCIA Engineer
- [2] Edward L. Wilson .: Three-Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures Computers and Structures, Inc. Berkeley, California, USA (2002)
- [3] Anil K. Chopra.: Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, 2/E, Prentice Hall , 2001
- [4] Waren C.Young, Richard G.Budynas.: Roark's Formulas for Stress and Strain 7<sup>th</sup> edition Interantional Edition 2002, McGraw-Hill

# PROPOJENÍ SCIA ENGINEER S TEKLA STRUCTURES

### Ing. Zbyněk Pőffel

Construsoft, s.r.o., Sadová 2, 750 02 Přerov, Česká Republika

## 1 ÚVOD

Vzhledem k vzrůstajícímu zájmu o převod dat mezi programy Scia Engineer a Tekla Structures, rozhodla se společnost Scia CZ ve spolupráci se společností Tekla Structures vyvinout přímé propojení (plug-in) mezi těmito programy. Výsledkem tohoto příspěvku by měl být hlavně návod jak s tímto plug-in pracovat. Tedy postup jak dospět co nejefektivněji ke kýženému cíli a možnosti správného nastavení jednotlivých parametrů v plug-in i v programech Tekla Structures a Scia Engineer.

O spolupráci na vývoji a testování výše uvedeného plug-in byla požádána firma Construsoft, s.r.o., která je vyhradním distributorem programu Tekla Structures pro Českou republiku a Slovenskou republiku.

## 2 INSTALACE A NASTAVENÍ PLUG-IN

Samotná instalace plug-in je velice jednoduchá a po spuštění instalačního souboru, který obdržíte od společnosti Scia, potvrdíte pouze cestu instalace a daný program se naistaluje. V případě, že potvrdíte výchozí parametry, bude plug-in naistalován do složky C:\Program files\SCIA\Scia to Tekla plug-in. Po ukončení instalace budete požádani o nastavení plug-in. Toto nastavení lze přeskočit a provést později buď přímo spuštěním souboru SciaPluginCfgEditor.exe v naistalované složce nebo přímo z programu Tekla Structures v menu nástroje-makra a zde najít požadovany plug-in. V rámci nastavení je nutné zadat cestu k importním a exportním šablonám, cestu k mappovacím souborům (soubory pro správnou konverzi profilů a materiálů z Tekla Structures do Scia Engineer a naopak) a v neposlední řadě cestu ke spouštěcímu souboru Esa.exe. V případě, že je odsouhlaseno výchozí nastavení při instalaci, je nastavení v pořádku a je nutné ho pouze zkontrolovat. Po instalaci plug-in je možné v rámci výpočtového modelu v Tekla Structures nastavit toto propojení (viz. obrázek 1). Samotné dialogové okno nastavení je na obrázku 2.

🕅 Vlastnosti výpočtového modelu				
Wpočtový model Výpočet Úloha Výstu	p Seismické Seismické hmoty Modální výpočet	Návrh - ocel Návrh - beton Návrh - dřevo		
Výpočtový program	Scia Engineer - automatic start	Nastavit jako default		
Název modelu pro posouzení:	test3	Modální výpočtový model		
Metoda vytvoření:	Celý model	Filt Žádný		
Poloha os prvku	Použít základní nastavení modelu			
Konstrukční metoda uzlu:	Síla do středu spojení	🕙 🗹 Rozšířená kontrola kolize		
Spojování modelu s výpočtovým programem	Zakázáno	Resetovat		
Volnost konce prvku podle spoje:	Ne			

Obr. 1 – Užití volby Scia Engineer

E Configuration dialog for Scia2Tekla plugin	
Scia2Tekla version 1.0.3 http://www.scia-online.com/	CrossSection Mapping Database CrossSection map file C:\Program Files\SCIA\Sci
Scia Engineer to Scia	Name Tekla CrossSection EN-EC Databas Type master Version 2 CrossSection count 428
Reports         Import Template <ul> <li>C:\Program Files\SCIA\</li> <li></li> </ul> Export Template <ul> <li>C:\Program Files\SCIA\</li> <li></li> </ul>	Material Mapping Database         Material map file       C:\Program Files\SCIA\Sci         Name       Tekla Material EN-EC Database         Type       master         Version       2
Logger Log level	Material count 29
Log file C:\Program Files\SCIA\Scia to T	ESA PT Folder C:\Downloads\prog\ESAPT\E
Common	Template C:\Program Files\SCIA\Scia to
use pretty print xml format	
Help	Reset OK Cancel

#### Obr. 2 – Nastavení plugin

# 3 TVORBA STATICKÉHO MODELU PŘÍMO V TS

Princip práce výše uváděného plug-in je ten, že danou konstrukci vymodelujeme v programu Tekla Structures a následně pomocí propojení přeneseme informace o statickém modelu do programu Scia Engineer a zde provedeme výpočet konstrukce. Případné změny profilů, které jsou výsledkem výpočtu, promítneme zpět do Tekla Structures.

Vzhledem k výše uváděnému postupu je velice důležité již v Tekla Structures (TS=Tekla Strucures) zadávat nastavení statického modelu, která budou následně použita v programu Scia Engineer (SE=Scia Engineer). Toto zadávání můžeme provést dvěma základními způsoby:

- pomocí základního prvku v TS (viz. dále nastavení statického modelu)

- pomocí nastavení vlastností spojů v TS (viz. dále nastavení statického modelu)

Následující odstavce vysvětlují podrobněji možnosti a principy nastavení. Poslední odstavec této kapitoly udává doporučení a důvody, které k tomuto doporučení vedou.

#### 3.1 Statické schéma pomocí základního prvku v TS

Nastavení tohoto typu lze provést přímo v zadávání jednotlivých entit v TS jako jsou nosník, sloup apod. V dialogovém okně těchto entit je možné nalést záložky volnost počátku, volnost konce, návrh a deformace. V těchto všech záložkách lze nastavit počáteční parametry statického výpočtu. Jako nejdůležitější se pro prvotní zadání jeví první dvě z nich, ve kterých se zadávají podpory, popřípadě kloubová či jiná spojení. Při použití těchto nastavení je možné

zásadním způsobem ovlivňovat tvorbu statického schématu. Na obrázku 3 je ukázka dialogového okna sloupu.



Obr. 3 – Statické schéma dle základní entity v TS

### 3.2 Statické schéma pomocí spojů v TS

Druhým způsobem, jak lze zásadně ovlivnit statické schéma, je v nastavení spoje. Tento krok je prováděn "až" jako druhý v pořadí. Druhý v pořadí znamená, že nejprve je nutné vymodelovat v TS základní entity a nasledně lze tyto entity spojovat spoji či makry. Důležité je v tomto případě říci, že pokud na nějakém konci prvku není vymodelován spoj, není možné pomocí tohoto způsobu nastavit jeho statické vlastnosti. Dalším důležitou skutečností je to, že v rámci statického návrhu nemusí být spoje v konstrukci ještě řešeny a tím pádem tato varianta není vhodná. Na obrázku 4 je ukázka dialogového spoje ( patka, spoj ozn. v TS 1014), ve kterém jsou stejné záložky pro statické nastavení jako ve variantě předchozí, tedy volnost počátku, volnost konce, návrh a deformace.



Obr. 4 – Statické schéma dle spoje v TS

### 3.3 Výsledné doporučení tvorby statického modelu

Některá doporučení ohledně nastavení a použití jedné či druhé z uvedených variant byla již uvedena. Vzhledem k níže uvedeným skutečnostem se přikláním k variantě první, tedy definování statického schématu pomocí základních entit programu TS a to z níže uvedených důvodů:

- jednodušší tvorba a globální editace s ohledem na statické schéma a nejen na ně

- v počátku projektu nemusí být řešeny vůbec spoje a proto by nastavení chybělo
- spoje rozdělí pruty na více prvků, které nemusí zcela odpovídat skutečnosti;
- statické schéma je potom složitější a v některých případech nemusí zcela odpovídat realnému statickému působení
- větší přehlednost a jednoduchost

Výše uvedené závěry jsou pouze doporučené a pokud se jeví druha varianta, tedy tvorba statického schématu pomocí spojů v TS lepší, není problém ji využívat jako prioritní, je ale nutné brát v úvahu její částečné omezení.

# 4 ZADÁVÁNÍ A TVORBA ZATÍŽENÍ V TEKLA STRUCTURES

V rámci TS lze v konstrukci zadávat zatížení dle jednotlivých typů (břemeno, liniové zatížení apod.) a jednotlivých skupin (stálé, sníh, vítr apod.). Tuto volbu lze provést v menu Výpočet-zatížení nebo dle ikon. Zadávání zatížení můžeme provést buď dle výše uvedených možností nebo ji lze vynechat a samotné zatížení je možné zadat až v SE. Zadání nebo nezadání zatížení v TS nemá vliv na tvorbu statického schématu, pouze je nutné akceptovat informaci v log souboru, že v daném modelu nejsou zadána žádná zatížení. Ukázka skupin zatížení v TS je na obrázku 5.

🗑 Sku	piny zatižení						×
Akt	Název	Тур	Orientace	Kompati	Nekomp	Barva	Skupina zatížení Nastavit aktuální
@	Bremeno snih stale	Stálé zatížení Zatížení sněhem Stálé zatížení	z z z	0 0	0 0 0		Přidat Vymazat
							Výběr Skupiny zatížení podle zatížení Zatížení podle skupin zatížení Zatížení Změnit skupinu zatížení
ОК							

Obr. 5 – Zatížení v TS

# 5 VYTVOŘENÍ STATICKÉHO MODELU

V rámci této kapitoly je ukázána tvorba nového statického modelu, jeho nastavení a práce s ním. Vysvětlení této části není absolutní, nýbrž jsou zde uvedena základní a zásadní nastavení statického modelu, aby se s ním dalo plnohodnotně pracovat a dosáhnout požadovaných výsledků. Statických modelů může být v rámci jednoho projektu v TS více a mohou se lišit dle jednotlivých nastavení. Tímto způsobem je také možné porovnat jednotlivé parametry včetně výše uvedených variant tvorby statického schématu. Samotné spuštění dialogového okna se statickými modely je v menu TS Výpočet-Modely pro analýzu/návrh… nebo opět pomocí ikony.

#### 5.1 Tvorba statického modelu, jeho nastavení a kombinace

Po spuštění dialogového okna statických modelů (viz. obrázek 6) je možné vytvořit statický model nový nebo pomocí vlastností editovat vlastnosti již vytvořeného statického modelu.

📓 Modely pro posouzení a ná	vrh						_ 🗆 🛛
Název modelu pro posouzení Vý	počtový program	Metoda vytvoř	Výsledky	D	Počet prvků	Nový	Vymazat
test1 Sc test Sc	cia Engineer - automatic start cia Engineer - automatic start	Celý model Celý model	Neznámý stav Není aktuální	M	3	Vlastnosti	Vybrat objekty
						Přidat vybrané objekty	Odstranit vybrané objekty
						Ukázat v modelu	Aktualizovat a ukázat
						Kombinac	e zatížení
						Obnovit	Detaily
Rozhraní výpočtového programu					_	 J	
Spustit Vytvořit model	Otevřít aplikaci Zavřít aplikaci Z	íískat výsledky) [Z	lískat výsledky pro	ybrané			Zavřít

Obr. 6 – Dialogové okno stat. modelů

Při tvorbě nového statického modelu (viz. obrázek 7) bychom měli především nastavit tyto parametry:

- Výpočtový program je nutné nastavit na hodnotu Scia Engineer automatic start tak, aby program přímo spolupracoval a automaticky spustil SE. Toto nastavení bylo zmíněno již výše při samotné instalaci. Dále je zde možné nastavit hodnotu na Scia Engineer manual start, kde je vše nutné provádět po jednotlivých krocích manuálně. Toto nastavení není předmětem tohoto příspěvku.
- *Název modelu pro posouzení*, zde je nutné vyplnit svůj název modelu. Tento název je velice důležitý pro promítnutí změn profilů (viz. dále) z SE zpět do TS. Doporučuji zadávat jednoduchá slova bez mezer, případně používat podtržítko.
- Poloha os prvku, toto nastavení je zásadní pro zohlednění případných excentricit ve statickém modelu. Pokud je hodnota výchozí, tedy "použít základní nastavení modelu", s excentricitami nebude uvažováno. Pokud bude volba na "referenční osy (excentricita podle neutrálních os)", budou všechny excentricity zahrnuty do statického schématu. Další volbou je "použít referenční osy", kde jsou zohledněna i posunutí profilu od geometrické osy a jedná se o další možnost nastavení. Výše uvedená nastavení jsou do značné míry závislá na typu celkového modelu nebo na vymodelovaných prvcích a proto je dobré jednotlivá nastavení použít pro dané případy, především poslední vysvětlované nastavení.
- Volnost konce prvku podle spoje, toto nastavení je zásadní pro tvorbu statického schématu a má přímou vazbu na výše vysvětlované varianty tvorby statického schématu. Pokud je zde volba ne, je statické schéma je odvozeno od základních entit modelu. Pokud je volba na ano, statický model se bude vytvářet dle nastavení ve spojích.

Ostatní parametry uvedené v obrázku 6 – Vlastnosti výpočtového modelu nejsou tak zasadní a jejich význam je do značné míry patrný z jednotlivých nastavení.

🕅 Vlastnosti výpočtového modelu		×
Výpočtový model Výpočet Úloha Výstup	p Seismické Seismické Kyoty Modální výpočet	Návrh - ocel Návrh - beton Návrh - dřevo
Výpočtový program	Scia Engineer - automatic start 🛛 👻	🗖 Nastavit jako default
Název modelu pro posouzení:	test	Modální výpočtový model
Metoda vytvoření:	Celý model 🗸 🗸	Filtr Žádný 💌
Poloha os prvku	Použít základní nastavení modelu 🛛 👻	
Konstrukční metoda uzlu:	Síla do středu spojení 🛛 👻	🗹 Rozšířená kontrola kolize
Spojování modelu s výpočtovým programem	Zakázáno 💌	Resetovat
Volnost konce prvku podle spoje:	Ne 💌	
ОК		Zrušit Nápověda)

Obr. 7 – Vlastnosti výpočtového modelu

Další možností TS je vytvoření kombinací pro jednotlivé výpočtové modely (viz. obrázek 8). Jelikož tato tvorba neovlivňuje tvorbu statického schématu a není nutné ji využít tak jako tvorbu zatížení (možnost vytvořit kombinace až v SE), jsou zde uvedeny pouze možnosti, jakým způsobem je možné kombinace v TS vytvářet. Důležité je říci, že k tvorbě kombinací je nutné mít zadány zatěžovací stavy, tedy zatížení.

Načíst	kombinace				X
Uložit	Načíst < prázdný	>		Vložit jako	]
Id	Název kombinace	Typ kombinace	Vlastní hm stale	Bremeno snih	1
1 2 3 4	ULS1 ULS2 ULS3 ULS4	ULS ULS ULS ULS	1.00x1.35 1.00x1.35 1.00x1.00 1.00x1.35 1.00x1.35 1.00x1.35 1.00x1.00 1.00x1.00 1.00x1.00 1.00x1.00	1.00x1.35 1.00x1.00 1.00x1.35 1.00x1.50 1.00x1.00 1.00x1.50	
Nový.	Generovat		Počet kombinací: 4		Odstranit Odstranit všechno
ОК	Použít				Zrušit

**Obr. 8 - Kombinace** 

Tvorbu kombinací je možno zautomatizovat podle nastavení v programu TS a generovat kombinace automaticky (viz. obrázek 9) nebo je vytvářet ručně dle svých specifických požadavků (viz. obrázek 10). Automatické generování kombinací (pravidla pro toto generovaní) je možno nastavit ve výchozím nastavení v TS.

📓 Generování kombinací zatíže	ení	×				
Přídat kombinace pro:	<u>↓</u>					
🗹 Skupiny zatížení	r.					
🔲 IMS - I. mezní stav	🔲 IMS - I. mezní stav					
🔲 SLS - Mezní stav použitelnosti / Vyjímečně						
🔲 SLS - Mezní stav použitelnosti / Kvazipermanentní						
✓ Včetně vlastní hmotnosti						
🔲 Generovat vítr také v opačném směru						
OK Použít		Zavřít				

Obr. 9 – Automat. generování kombinací

🕅 Koeficienty kombinovaného za	ıtiženi				×
Typ kombinace		4			
IMS - I. mezní stav	*				
Název kombinace					;
Dostupná zatížení		Kombinace			
Vlastní hmotnost stale Bremeno snih		Znak Faktor redukce	Částečný faktor bezpečnosti	Skupina zatížení	
OK Použít					Zrušit

Obr. 10 – Ručně zadávané kombinace

#### 5.2 Přímé propojení Tekla Structures s Scia Engineer

Vlastní propojení programů TS a SE je realizováno pomocí naistalovaného plug-in modulu a výše uvedeného nastavení. Vytvoření statického modelu (schématu) můžeme provést pomocí tlačítka "Vytvořit model" v okně s jednotlivými výpočtovými modely a následně prohlédnout v TS, jak bylo statické schéma vytvořeno. Samotný přenos modelu z TS do SE je proveden pomocí tlačítka Spustit (viz. obrázek 6). Pokud je vše nastaveno v pořádku dle výše uvedeního postupu, vytvoří se statický model a následně se automaticky otevře SE s přenášenou konstrukcí. Na zavěr přenosu vygeneruje TS report v html formátu, kde je specifikováno, co bylo provedeno. V případě, že je něco špatně zadáno nebo nastavení nelze provést, je přenos přerušen se specifickým reportem, kde je uveden důvod přerušení přenášení konstrukce do SE.

Níže je uvedena ukázka konstrukce před přenosem v TS (viz. obrázek 11) a následně konstrukce po přenosu v SE (viz. obrázek 12)



Obr. 11 – Konstrukce v TS



Obr. 12 – Konstrukce v SE

### 5.3 Promítnutí změn profilů ze Scia Engineer do Tekla Structures

Posledním krokem vzájemné spolupráce programů TS a SE je promítnutí případných změn profilů po výpočtu a posouzení v SE. K tomu, abychom mohli promítnout změnu profilů do TS, je nutné změněný model v SE uložit jako Tekla soubor. V menu SE v Soubor-export-Tekla soubor (viz. obrázek 13) je nutné model uložit do adresáře modelu v TS v podadresáři analysis pod stejným názvem jako je uveden statický model v TS (viz. kapitola 5.1, název modelu pro posouzení). Pokud bude tento soubor uložen na jiné místo nebo pod jiným názvem, nelze soubory z SE a TS spárovat a tím pádem ani změněné profily promítnout do TS.



Obr. 13 – Tekla soubor v SE

Zpětný přenos změněných profilů do TS je nutné provést pomocí tlačítka "Získat výsledky" v dialogu statických modelů (viz. obrázek 6). Po použití této funkce se zobrazí tabulka, ve které jsou vidět jednotlivé profily (změněné či nezměněné). Následně je možné provést změnu profilů pro všechny změněné profily nebo pouze pro vybrané profily (viz. obrázek 14). Po použití jedné z výše uvedených variant přijmutí profilů, budou v TS tyto profily změněny na profily z SE.

🔀 Výsledky optimalizace					×
Výpočtová skupina	Původní profil	Nojvý profil	Počet prvků Stav	Přijato	
COLUMN-HEA300 Id:1163	HEA300	HEASO0	1		
COLUMN-HEA300 Id:23178	HEA300	HEA300	1		
COLUMN-HEA300 Id:23214	HEA300	HEA220	1	Ne	
COLUMN-HEA300 Id:114110	HEA300	HEA300	1		
COLUMN-HEA300 Id:114257	HEA300	HEA300	1		
COLUMN-HEA300 Id:114293	HEA300	HEA220	1	Ne	
BEAM-IPE270 Id:1224	IPE270	IPE270	1		
BEAM-IPE270 Id: 3725	IPE 270	IPE270	1		
BEAM-IPE270 Id:23196	IPE 270	IPE270	1		
BEAM-IPE270 Id:23232	IPE270	IPE270	1		
BEAM-IPE270 ld:114132	IPE270	IPE270	1		
BEAM-IPE270 ld:114170	IPE270	IPE270	1		
BEAM-IPE270 ld:114275	IPE 270	IPE270	1		
BEAM-IPE270 ld:114313	IPE 270	IPE270	1		
COLUMN-IPE2701d:3707	IPE 270	HEA220	1	Ne	
BEAM-L80*6 Id:29589	L80*6	L80×6	1		
BEAM-L80*6 Id:29596	L80*6	L80×6	1		
BEAM-L80*6 Id:31969	L80*6	L80×6	1		
BEAM-L80*6 Id:31976	L80*6	L80*6	1		
BEAM-L80*6 Id: 32048	L80*6	L80*6	1		
BEAM-L80*6 Id: 32066	L80*6	L80*6	1		
BEAM-L80*6 Id:32084	L80*6	L80×6	1		
BEAM-L80*6 Id: 32102	L80*6	L80×6	1		
BEAM-L80*6 Id:60874	L80*6	L80*6	1		
BEAM-L80*6 Id:60893	L80*6	L80*6	1		
BEAM-L80*6 Id:60912	L80*6	L80*6	1		
BEAM-L80*6 Id:60930	L80*6	L80*6	1		
BEAM-L80*61d:60948	L80*6	L 80*6	1		
BEAM-L80*6 Id:60966	L80*6	L80×6	i		
BEAM-L80*6 Id:113061	L80*6	L80*6	1		
BEAM-L80*61d:113083	L80*6	L80×6	i		
COLUMN-IPE2001d:114150	IPE 200	HEA220	1	Ne	
COLUMN-HEA1801d:114188	HEA180	HEA180	1	0.00	
COLUMN-HEA1801d:114209	HEA180	HEA180	1		
COLUMN-HEA180 Id:114373	HEA180	HEA180	i		
COLUMN-HEA1801d:114393	HEA180	HEA180	1		
BEAM-IPE180 Id:114229	IPE180	IPE120	1	Ne	
BEAM-IPE180 Id:114413	IPE180	IPE120	1	Ne	
Přijmout všechno Přijmout vybrané	Přijmout vybrané pouz	e pro vybrané objekty	🛛 🗖 Použít návrhové skupin	y 🔲 Ukázat pouze změny	Zavřít

Obr. 14 - Profily z SE

# 6 ZÁVĚR

Závěrem ještě několik slov k možnosti využití plugin v jednotlivých verzích programu TS a SE. Plug-in Tekla2Esa je možné využívat ve verzi programu Scia Engineer Release 2008 a Tekla Structures 14.0 respektive 13.0, 13.1. Tento plug-in je produktem společnosti Scia, který byl vyvinut ve spolupráci se společností Tekla. Do budoucna se uvažuje, že přibudou další zpětné funkce z programu SE do TS.

Na úplný závěr tohoto příspěvku bych rád uvedl, že se nejedná o úplný výčet parametrů nastavení jak v programu TS či SE týkající se nového plug-in, ale jedná se o návod nebo pomůcku pro práci s ním. Jakékoliv další dotazy či nejasnosti je možné zodpovědět po prezentaci nebo na následujících workshopech, případně telefonicky či emailem.

#### LITERATURA

[1] Materiály z programu Tekla Structures - Help

[2] Materiály z programu Scia Engineer - Help

# PROPOJENÍ SCIA ENGINEER S CAD SYSTÉMY, IFC

### Ing. Martin Novák, CSc.

SCIA CZ, s r.o., Thákurova 3, Praha 6

# 1 ÚVOD

Pro firmu SCIA je jednou z dlouhodobých priorit přenos modelů z CAD systémů do SCIA Engineer a zpět, což představuje pro uživatele obrovskou úsporu práce s opětovným vytvářením modelu. Přenosem dat mezi programy se zabývá oblast, která se dnes nazývá jako BIM (Building Information Modelling). Cílem je samozřejmě přenášet modely konstrukcí při nulové nebo minimální ztrátě informací. Je to oblast, která je velice aktuální při týmové práci, kdy několik projektových pracovníků pracuje současně na jednom projektu, a používají přitom několik různých programových systémů. Cílem příspěvku je popsat možnosti výměny dat mezi programem SCIA Engineer a CAD programy, používanými ve stavebním projektování a v architektuře. Program SCIA Engineer je vybaven dnes nejmodernějším rozhraním pro tyto přenosy dat, a to rozhraním IFC, (Industry Foundation Classes), kterému je věnován tento příspěvek.

# 2 FORMÁT IFC

### 2.1 Historie formátu IFC

Formát IFC (Industry Foundation Classes) je vyvíjen, udržován a zdokonalován organizací IAI (International Alliance for Interoperability, viz <u>http://www.iai-international.org</u>), která vznikla na základě podnětu průmyslových firem, které mají zájem na vzájemné kompatibilitě programů, používaných ve stavebnictví.

Existuje také řada nekomerčních aplikací pro grafické zobrazování, kontrolu správnosti či prohlížení IFC souborů. Jejich seznam najít webových stránkách lze na http://www.ifcwiki.org/index.php/Free Software. Mezi užitečné, volně dostupné aplikace na Internetu patří IfcStoreyView (3D prohlížeč modelu s kompletním zobrazením konstrukce, plánů podlaží a s přehledem všech vlastností a souvislostí jednotlivých entit), IfcObjCounter (spočítá entity a zkontroluje syntaxi modelu v IFC souboru), IfcQuickBrowser (textový prohlížeč IFC souboru, který zobrazí jednotlivé návaznosti ve stromu), i DDS IFC Viewer (3D prohlížeč) nebo Nemetschek IFC Viewer (rovněž 3D prohlížeč). Tyto programy rovněž vznikly z popudu a většinou i z finančních prostředků organizace IAI. To znamená, že kdokoli si může konstrukci, nebo její část, uloženou v IFC formátu snadno prohlédnout libovolně si s ní otáčet, nebo se skrz ni procházet, zobrazit jen vybrané části, a zjistit kromě geometrie i jejich další vlastnosti, jako je materiál, další údaje pro výkazy, např. objem, hmotnost atd., pokud zde jsou zapsány.

Dalšími programy, resp. moduly, které pracují s IFC je IFC Toolbox (programová knihovna pro programování IFC exportů a importů) a IFC ModelServer, který umožňuje ukládat data o konstrukci, popsaná jako IFC objekty, na společném serveru a pracovat s nimi pomocí klientských aplikací ze vzdálených počítačů..

V současné době je používána platforma IFC 2x3, která umožňuje pracovat jak s architektonickým modelem, tak i s nosnou konstrukcí včetně jejího výpočtového modelu (podpory - vetknutí, klouby,...), zatížení (bodové, spojité i plošné), reakcí (síly, posuny,...), vlastností ocelových styčníků i profilů a dřevěných konstrukcí včetně popisu mechanických vlastností materiálů. Na rozvoji formátu IFC se neustále pracuje, čím vzniká platforma IFC 2x4 a s ní i další užitečné formáty jako ifczip (komprimovaný formát ifc) a ifcXML (zápis pomocí jazyku XML).



Obr. 1 – Ikony představující jednotlivé formáty (IFC 2x3, ifcXML a IFCzip)

### 2.2 Popis prvků v IFC modelu

IFC je objektově orientovaný datový formát, který je zapsán ve formátu STEP. To znamená, jde o textový soubor, který lze jednoduše prohlížet nebo jej upravovat i běžným nástroji (Notepad, WordPad, atd.). Samozřejmě pro snadnější prohlížení je výhodné použít některou z aplikací zmíněných v předchozí podkapitole.

Univerzálnost tohoto formátu spočívá především v jeho flexibilitě. To znamená, že umožní zapsat prvek konstrukce a jeho vlastnosti mnoha různými způsoby. Tím je dosaženo, že každý z programů, kompatibilních s IFC formátem, je schopen akceptovat alespoň jeden z těchto způsobů. Zda program akceptuje právě jeden způsob, anebo jich akceptuje víc, případně všechny, které ostatní programy jsou schopny vytvořit nebo načíst, záleží na hloubce propracovanosti IFC rozhraní. Kvalita a propracovanost je předmětem testovacích procesů v organizaci IAI, která, uděluje po jejich absolvování příslušné firmě a aplikace certifikační známku.

Základní typy definování geometrického tvaru prvku konstrukce jsou :

- a) SweptSolid tažení tělesa podle zadané osy v zadané délce
- b) Brep (boundary representation) popis tělesa pomocí povrchových polygónů.

Oba dva uvedené typy lze dále kombinovat s dalšími geometrickými objekty, jako je Clipping (ořezávání těles a to jak rovinou tak i jiným tělesem) a MappedRepresentation (vytvoření jakéhosi bloku, který pak lze opakovaně vložit na více místech). Další, poněkud speciální objekt, je booleovský kliping, pomocí kterého lze těleso nadefinovat pomocí booleovské operace těles. Pokud aplikace není schopna booleovských operací, obyčejně pro tělesa s ořezy používá popis pomocí povrchových polygónů, což není pro import do programů na statické výpočty ideální způsob, ale SCIA Engineer si poradí díku rozpoznávači prvků i s ním.

### 2.3 Co znamená IFC certifikace

Aby bylo možné nějakým způsobem garantovat kompatibilitu příslušného programu s IFC rozhraním, zavedla organizace IAI statut certifikace. Systém testů, kterými musí programy projít, jsou vytvořeny z IFC souborů, exportovaných programy členů IAI organizace. Cílem je určit, které soubory jsou v pořádku a splňují všechny nároky jak obsahové, tzn. nechybí v nich nutné části, a jsou i syntakticky správné. Tyto soubory, které jsou shromažďovány

jakožto seznam testovacích příkladů, musí ostatní certifikované programy být schopny naimportovat. Tím se IFC formát liší od všech předešlých snah na "u nifikované rozhraní", protože IAI skutečně organizuje testovací certifikační procedury a dohlíží na kompatibilitu programů členských firem.

Certifikace se provádí odděleně pro různé oblasti, které IFC formát popisuje. Momentálně nejaktuálnější tzv. "Coordination view", což je vlastně popis vlastní konstrukce, která je daná především geometrií.

Proces certifikace IFC je složen ze dvou kroků. První krok spočívá v testech importu a exportu několika set jednoduchých příkladů, obsahujících jednotlivé prvky a typy popisu (reprezentace). Tyto příklady jsou získány od ostatních firem, které vyvíjejí export do IFC souboru a chtějí získat IFC certifikát pro svoji aplikaci.

V druhém kroku certifikace se pracuje s alespoň dvěma skutečnými projekty, vytvořenými uživateli v praxi od každé z členských firem, nicméně za dobu, po kterou se certifikace provádějí, se nashromáždilo příkladů výrazně více. Při testování se modely exportují a importují do jednotlivých programů, výsledky se porovnávají a kontroluje se korektnost modelu v jednotlivých aplikacích. SCIA CZ, s r.o. získala první krok 21.května 2007 a druhý krok 25.února 2008. To znamená, že SCIA Engineer 2008.1 je plně certifikován pro IFC rozhraní. Následuje seznam firem, které jsou dnes certifikovány:

- ALLPLAN (Nemetschek)
- ArchiCAD (Graphisoft)
- Solibri Model Checker (Solibri)
- TEKLA Structures (TEKLA Corporation)
- Vizelia online (Vizelia)
- ACTIVe3d (ARCHIMEN Group)
- Revit Architecture (Autodesk)
- AutoCAD Architecture (Autodesk)
- Bentley Architecture (Bentley Systems)
- DDS-CAD (DDS)
- MagiCAD (Progman)

To znamená, že z oblasti statiky je dnes SCIA Engineer jediným certifikovaným systémem.



# 3 IFC 2X3 V SYSTÉMU SCIA ENGINEER

### 3.1 Import

V současné době je ve SCIA Engineer několik možností jak naimportovat model z IFC souboru, které se volí v importním dialogu. Import IFC souboru se spouští stejně jako většina ostatních importů z menu *Soubor* > *Import* > *IFC* 2x3.

Možnosti importu IFC							
Prvky ze souboru							
importovat jako prvky							
C importovat jako obecná tělesa							
<ul> <li>Importovat pouze výpočtový tvar</li> <li>Spustit rozpoznávač prvků</li> </ul>							
Tabulka materiálu							
Vyberte soubor Opravit							
OK Storno							

Obr. 2 – Dialog pro nastavení importu

Nejprve je potřeba vybrat způsob reprezentace prvků po importu, tj. buď jako prvky nebo jako tělesa. Volba "importovat jako prvky" znamená, že ze všech prvků, popsaných jako "sweptsolid" (tj. lze odvodit jakýsi tvar průřezu a směr a délku jeho tažení) vzniknou sloupy, nosníky, stěny a desky s definovanými vlastnostmi. Pruty s definovaným válcovaným průřezem jsou následně editovatelné pomocí knihovny válcovaných profilů. Pruty s parametricky definovaným profilem jsou editovatelné stejně jako průřezy z databáze ze skupiny průřezů Geometrické tvary. Všechny ostatní profily lze upravovat pomocí Editoru obecných průřezů. Prvky definované pouze pomocí hran a ploch jsou naimportovány jako obecná tělesa.

Druhá volba importovat jako obecná tělesa znamená, že veškeré prvky bez ohledu na jejich definici v IFC souboru jsou naimportovány jako obecná tělesa.

V případě, že uživatel nepotřebuje mít přesný geometrický tvar vlastní konstrukce (konstrukční), je doporučeno zaškrtnout možnost Importovat pouze výpočtový tvar, čímž se doba importu modelu značně urychlí.

Pokud jsou v IFC souboru prvky, jako sloupy, nosníky, stěny a desky s pravidelným tvarem, definované pomocí hran a stěn, lze doporučit použít možnost Spustit rozpoznávač prvků. Ten během importu převede tyto prvky, které by se jinak naimportovaly jako obecná tělesa, na prvky konstrukce s příslušnými vlastnostmi. Takto se dokáže SCIA Engineer vyrovnat s nepříznivým způsobem exportu modelu z CAD aplikace oproti ostatním programům na statické výpočty. Prvky jako např. schodiště, zábradlí, rampy apod. jsou naimportovány vždy jako obecná tělesa.

Poslední, co lze nastavit, je import materiálu. Protože mnoho IFC souborů exportovaných z různých CAD aplikací obsahuje pojmenování materiálu pouze slovním pojmenováním, např. beton1, beton2,... lze pomocí tlačítek Vyberte soubor a Opravit zadat konverzní tabulku pro převod na normové jméno materiálu, který SCIA Engineer akceptuje. Tato tabulka se definuje jako textový soubor se souborovým rozšířením \*.con následujícím způsobem:

[materials] ; Beton1=C12/15 Beton2=C25/30

Pro definování materiálů je potřeba dbát na to, aby bylo jméno materiálu napsáno přesně tak, jak je definováno v databázi materiálů ve SCIA Engineer a to včetně mezer. Před a za rovnítkem nesmí být mezery a každá definice musí být na vlastním řádku.

Během importu je na obrazovce vidět dialog s počtem již naimportovaných prvků z celkového počtu prvků obsažených v IFC souboru.

Po skončení importu se objeví dialog s informacemi kolik jednotlivých prvků bylo naimportováno, popř. jaké problémy nastaly.

Import IFC	_ = ×
Importováno: 162 desek 69 otvorů v deskách 605 těles	1
Chyby: Obecné těleso importováno jako polygonální model. #7 Obecné těleso importováno jako polygonální model. #7 Obecné těleso importováno jako polygonální model. #6 Obecné těleso importováno jako polygonální model. #6	3458 0571 9707 9581 6171 5877 5311
OK Uložit	jako

Obr. 3 – Dialog se zprávou o importovaných prvcích

### 3.2 Export

Ve SCIA Engineer je několik možností jak exportovat model do IFC souboru, které se volí v exportním dialogu. Export do IFC souboru se spouští stejně jako většina exportů z menu Soubor > Export > IFC 2x3.



Obr. 4 – Dialog pro nastavení exportu

Podobně jako při importu, tak i při exportu je potřeba nejprve vybrat způsob reprezentace prvků po exportu, tj. buď jako prvky nebo jako tělesa. Zde se mírně liší volby pro 1D a 2D prvky.

### 3.2.1 1D Prvky (pruty)

Volba exportovat jako SweptSolid znamená, že veškeré profily ze skupiny Geometrické tvary jsou vyexportovány s profilem definovaným parametricky. Ostatní pruty mají profil definovaný obecně. Všechny pruty mají definovaný směr osy, po které jsou jejich profily tažené dle jejich zadané délky, název profilu a materiál.

Volba exportovat jako SweptSolid, bez parametrických průřezů znamená, že veškeré profily prutů jsou definované obecně. Stejně jako v předchozí možnosti mají všechny pruty definovaný směr osy, po které jsou jejich profily tažené dle jejich zadané délky, název profilu a materiál. Tato volba je užitečná při přenosu dat do programů, které nemají dostatečně implementovány v IFC importu parametrické průřezy.

Poslední volba pro pruty je Brep, což je způsob definování pouze pomocí hran pospojovaných do povrchových polygonů.

### 3.2.2 2D Prvky (stěny, desky, skořepiny)

Volba exportovat jako SweptSolid znamená (stejně jako u 1D prvků), že veškeré rovinné prvky a stěny s tvarem části kružnice jsou definované pomocí tvaru profilu, směrem a délkou tažení profilu a jejich materiálu. Ostatní skořepiny (nerovinné prvky) jsou popsány hranami a z nich vzniklými ploškami.

Druhá volba pro 2D prvky je Brep a stejně jako pro 1D prvky je to způsob definování pouze pomocí hran pospojovaných do povrchových polygonů.

Obsahuje-li ESA soubor nějaké obecné objemy jsou exportovány vždy druhým způsobem, tj. popisem hran.

Během exportu vidí uživatel na obrazovce dialog, který ukazuje počet již vyexportovaných prvků.

Po skončení exportu se objeví dialog s informacemi kolik jednotlivých prků bylo vyexportováno, popř. jaké problémy během exportu nastaly.



Obr. 5 – Dialog se zprávou o exportovaných prvcích

### 3.3 Aktualizace

V případě, že uživatel již začal s analýzou modelu a po té mu byl znovu zaslán IFC soubor s nějakými opravami modelu, lze doporučit použít funkci pro aktualizaci z IFC souboru. Spustí se z *Soubor* > *Aktualizovat* > *IFC* 2x3. Tím se na pozadí provede import IFC souboru do ESA souboru a po té se spustí stejný dialog jako při aktualizaci z ESA souboru. Dále pak následuje stejný postup pro zaktualizování jako při aktualizaci ESA souborem.

# 4 UKÁZKA POUŽITÍ NA KONSTRUKCI Z PRAXE

Pro ukázku využití formátu IFC v praxi byl použit testovací projekt z certifikace IFC. Konstrukce byla vytvořena v programu ArchiCAD 11.



Obr. 6 – Model v programu ArchiCAD 11



Obr. 7 – Model po importu do SCIA Engineer 2008

Samozřejmě tvar konstrukce není po importu do SCIA Engineer připraven na to, aby bylo rovnou spustit výpočet. Jedním z problémů, které jsou typické pro tyto situace, je, že prvky konstrukce na sebe doléhají povrchovými plochami a tím pádem jejich střednicové roviny mají mezi sebou vzájemně "mezery". Funkcí "Propojit" je možno prvky spojit, u jednodušších konstrukcí tato funkce propojí rovnou vše, u složitějších konstrukcí je nutno postupovat po částech. Dále je třeba zadat podepření a zatížení. Následující obrázek ukazuje výsledky výpočtu průhybů na horní desce.



Obr. 8 – Výsledky průhybů ve SCIA Engineer 2008

# UŽIVATELSKÝ POSUDEK V EXCELU

# Ing. Tomáš Luber

SCIA CZ, s. r. o., Slavíčkova 1a, Brno

# 1 MOŽNOSTI

V programu Scia Engineer máme mnoho rozsáhlých typů posudků pro 1D pruty: posudek betonářské výztuže, posudky ocelových, hliníkových nebo dřevěných prutů, posudky přípojů, atd.

V našem programu existuje velké množství posudků, ovšem uživatel někdy potřebuje velmi speciální typ posudku, který není a ani nikdy nebude implementován do programu Scia Engineer.

Zajímavou novinkou, kterou jsme nyní pro Vás připravili, je připojení Vámi definovaného posudku v Excelu přímo do systému "SCIA Engineer".

Toto je místo, kde se nabízí možnost využití Uživatelského posudku z Excelu. Uživatel může vytvořit vlastní data, vlastní typ posudku a propojit tyto data s existujícím excelovským souborem. Během posudku vstupní data z programu SCIA Engineer (vnitřní síly, data na prutu, průřezové charakteristiky, materiál,...) posíláme do Excelu a zpět čteme výsledky. Excelovský soubor je samozřejmě možno zobrazit v dokumentu programu.

Krok 1:	Aktivovat funkcionalitu Externí posudky
Krok 2:	Vytvořit <b>Uživatelsky definovaná přídavná data</b>
Krok 3:	Zadat <b>Uživatelsky definovaná přídavná data</b> na prut nebo uzel
Krok 4:	Spustit <b>Uživatelský posudek</b>
Krok 5:	Uložit <b>Uživatelsky definovaná přídavná data</b> do databáze pro budoucí použití

### Obecně je nutno postupovat těmito kroky :

# 2 ZADÁNÍ

### 2.1 Zapnutí funkcionality

Prvním krokem provádíme aktivování funkcionality Posudky externích aplikací

Data o projektu	J				×
Základní data	Funkcionalita Zatížení Kombinace	Ochrana Ná	irodní do	odatky	
Základní data	Funkcionalita       Zatížení       Kombinace         Dynamika       Počáteční napětí         Podloží       Nelinearity         Stabilita       Klimatická zatížení         Předpětí       Potrubí         Konstrukční model       Parametry         Pohyblivá zatížení       Projekční výkresy         LTA - zatěžovací stavy       Posudky externí aplíkací	Ochrana Ná	rodní do	Ocel Požární odolnost Modelář přípojů Rámový pevný spoj Ramový kloubový spoj Šroubovaný přípoj diagonály Expertní systém Výrobní výkresy přípojů Lešení Klopení druhý řád ArcelorMittal	
				ОК	Storno

### 2.2 Definování uživatelských dat

V druhém kroku musíme nadefinovat přídavná data. V hlavním stromu zvolíme Uživatelský posudek a otevřeme knihovnu Uživatelem definovaná přídavná data.



K dispozici máte knihovnu s definovanými přídavnými daty, ve které definujete celé rozhraní mezi systémem "SCIA Engineer" a "Excelem". Zde určujete, na jaké entity se data budou zadávat. Také je nutné nadefinovat, jaké typy výsledků bude posudek podporovat. Zda se bude jednat o zatěžovací stavy či kombinace: lineární nebo nelineární....



Těchto přídavných dat můžeme definovat kolik jen budeme potřebovat.

### 2.3 Uživatelské proměnné

Pro Váš posudek bude nutné nadefinovat informace, které program nezná a nemá. Proto si v této knihovně přidáme proměnné, které budete moci zadat na příslušnou entitu (na prut nebo na uzel). V případě, že budete posuzovat oslabení průřezu, budete jej také zadávat a můžete přidat i různé koeficienty. Tyto informace a proměnné musíte mít možnost zaslat do Excelu.

Seznam parametrů			2
1. Gamma M	Г	Тур	Číslo 💌
2. Elastic Check		Jméno	Gamma M 🗾 💌
		Popis	Safety Factor 🗾 🗸
		Jednotka	Nepoužito 💌
		Hodnota	1,1
		Rozsah	
		Použít	
		Min	1
		Max	10
Přidat položku Odstranit položku			
Databáze textů			OK Storno

### 2.4 Definování typů přídavných dat

Pro korektní zadání musíme definovat typ na jakou entitu se data budou zadávat.

Typ dat	Popis
Linie na 1D prutu	Liniové - je zadání úseku na prutu. Posudek bude
	spuštěn ve všech řezech, které náleží do tohoto
	úseku na prutu.
Bod na 1D prutu	Bodové - je zadání specifického bodu na prutu.
	Pouze v tomto bodě se spustí posudek.
V uzlu	Uzlové - je zadání na konkrétní uzel.
	Posudek bude spuštěn pouze pro tento uzel.

### 2.5 Definování posudku

V typu zatížení je možno specifikovat jaký typ výsledků bude použit pro posudek. V tomto případě budou použity pouze zatěžovací stavy v daném typu posudku.

V případě, že se vybere více typů zatížení, bude posudek proveden pro všechny typy současně. Tzn. Posudek se napřed posoudí na vybraný zatěžovací stav, a pak na vybranou kombinaci.

	Posoudit data	
	Name of check	Bending Check 📃
	Nastavení pro stručný výstup	
Ξ	Typ zatížení	
	Zatěžovací stavy	
	kombinace MSÚ	
	Kombinace MSP	
	Třídy výsledků	

Dále musíme definovat proměnné, které se budou tisknout a kreslit v programu SCIA Engineer a budou se číst přímo z Excelu. V tomto dialogu definujeme tyto výstupní parametry, např. jednotkový posudek.

Seznam parametrů		×
1. UC 2. Bend1	Jméno Extrém pro posudek Jednotka Jedinečné ID	UC max • (Jedn. posudek) {64A2296F-C1B8-457
Přidat položku Odstranit položku Databáze textů		K Storno

### 2.6 Definování mapování mezi SCIA Engineer a Excelem

Celá příprava je tímto krokem hotova a zbývá nejdůležitější krok a to definování propojení mezi proměnnými a parametry SCIA Engineer a políčky excelovského souboru.
Ve zdrojové skupině, položka "**Objekt",** zobrazuje všechny dostupné objekty v SCIA Engineer a také parametry, které byly definovány jako uživatelské. Tyto objekty mohou být definovány jako tři různé typy.

<-< Mé vstupní parametry	Tyto objekty obsahuji vstupy specifikované ve 2.3
>>> Mé výstupní parametry	Tyto objekty obsahuji výstupy specifikované 2.5.
Všechny další	Tyto objekty obsahuji všechny ostatní objekty

Když si zobrazujeme obsah těchto tabulek (otx soubor) v Editoru tabulek, pak stejný seznam dostáváme i v tomto mapovacím dialogu.

S Excel (tm) propojen	í				3
Data		Soubor	List	Buňka	Pole
Internal forces on member Cross-Sections.Wely (Pro Cross-Sections.Wely (Pro Steel EC3.Yield strength <<< My input parameters <>>> My output parameters >>> My output parameter Přidat Aktuali:	r:My operty) (Code in Gamma M Elastic C s.UC	D:\ESA_Excel\Excel_Exampl D:\ESA_Excel\Excel_Exampl D:\ESA_Excel\Excel_Exampl D:\ESA_Excel\Excel_Exampl D:\ESA_Excel\Excel_Exampl D:\ESA_Excel\Excel_Exampl D:\ESA_Excel\Excel_Exampl	Sheet1 Sheet1 Sheet1 Sheet1 Sheet1 Sheet1 Sheet1	85 87 89 811 813 815 823	Vodoro Vodoro Vodoro Vodoro Vodoro Vodoro Odstranit
-Zdroj Objekt Vlastnosti položky	Vnitřní síly My	y na prutu		▼ ▼	
-Cíl MS Excel (tm) soubor	D:\ESA_E	xcel\Excel_Example_1\Excel_Exa	ample_1.xls		Procházet
List Směr polí	Sheet1	ý Adresa buň	ky B5 dnota 0	<u> </u>	Ukázat
				ОК	Storno

Položka v Cílové skupině	Popis
Excelovský soubor	Použitím tlačítka " <b>Procházet"</b> vybereme
	excelovský soubor. Tato buňka zobrazí cestu a
	jméno souboru.
List	V této položce vybíráme List Excelu
Směr polí	Směr polí je použit pro specifikaci vlastností,
	kdy máme více než jednu hodnotu.
	Například, když mapujeme bodové zatížení na
	prutu, je tato hodnota uložena do jedné buňky.
	V případě, že máme více bodových zatížení na
	prutu, musíme definovat, kam se další hodnoty
	vloží.

Adresa buňky	Do tohoto políčka můžeme zadat adresu buňky. Můžeme použít standardní adresu, např. A1, nebo B7 Nebo lze použít pojmenované buňky. Pokud jsou pojmenované buňky použity v Excelu, isou zobrazeny automaticky
Aktuální hodnota	Pokud je zadána adresa buňky, uvidíme v tomto políčku aktuální hodnotu, která je v excelovském souboru. Použitím tlačítka " <b>Ukázat"</b> , otevřeme excelovský soubor.

#### 2.7 Definování detailního výstupu

Detailní výstup obsahuje přesně takový pohled z Excelu, jaký se zobrazí po naplnění všech parametrů a jeho přepočtení.

Kliknutím na tlačítko "Nastavení pro detailní výstup", se nám zobrazí následující dialog:

erní připojení pro dokume	nt				ſ
Nadpis	MS Excel (tm) soubor	List	Horní le	Spodní	
Bending Check	D:\ESA_Excel\Excel_Exam	Sheet1	A3	C23	
	I				
Pridat Aktualizovat					Odstranit
Položka	No de las	lin n (Th a alu			
	Naupis; jibenu	ing check			
MS Excel (tm) soubor:	Zdrojový so	ubor Hor	rní levá buňka	I	Rozsah -
D:\ESA_Excel\Excel_Examp	ole_1\Excel_Example_1.xls	A	3		▼
List:		_		Spodr	ní pravá buňka
Sheet1	]		23		<b>_</b>
Databázo tovtů				or I	Storpo

Stejně jako pro mapování, tak i pro pro detailní výstup definujeme excelovský soubor a List. V rozsahu musíme definovat oblast pro snímek. Zvolíme Horní levou buňku a Dolní pravou buňku, pak se v Tisku programu SCIA Engineer zobrazí přesně tato oblast. V tomto případě se vytiskne oblast A3 až C23.



# 3 ZÁVĚR

Věříme, že možnost připojit svůj vlastní posudek z Excelu uspokojí ty z Vás, kteří řešíte speciální detaily nebo nestandardní posudky, které se na konstrukci vyskytují. Ať už to jsou přípoje, různá oslabení na průřezu nebo například řešení základových patek, předpokládám, že takových souborů máte dostatek. A jak z naší zkušenosti vyplývá, připojit tyto výpočty nezabere mnoho času.

# NOVÉ MOŽNOSTI 64-BITOVÉHO SOLVERU

### Ing. Jiří Buček, Doc. Ing. Ivan Němec, CSc., Ing. Jiří Doležal

FEM consulting, s.r.o., Veveří 95, 602 00 Brno, Česká republika

## 1 ÚVOD

Na správnou analýzu stavebních konstrukcí v jakémkoliv programovém systému má vliv celá řada aspektů: od uživatelsky přívětivého vytvoření výpočetního modelu, přes rychlý a bezchybný výpočet, až po přehledné vyhodnocení výsledků, nadimenzování a dokumentaci. V současné době sílí tlak na výpočetní zvládnutí čím dál tím větších úloh, navíc jsou často požadovány náročné nelineární výpočty, a tím pádem se zvyšují požadavky na výkon výčetních částí software. Je to způsobeno jednak snahou po přesnějších výpočtech, ale velkou roli v tomto trendu hraje i požadavek modelovat v jedné úloze stále větší a komplikovanější objekty.

Poslední rok jsme proto věnovali velké úsilí vývoji nového solveru, který by uspokojil tyto vzrůstající požadavky uživatelů. Celý výpočetní systém byl upraven a přeložen pod novým intelovským kompilátorem, což umožnilo generovat solver nejen pro 32-bitový systém, ale i pro 64-bitový. Tím pádem byla prolomena dosud limitující hranice 2GB RAM paměti pro jednu aplikaci. Díky tomu se otevřel prostor pro využití přímých řešičů i pro větší úlohy, čímž se v mnohých případech (zvláště při větším množství zatěžovacích stavů) výrazně urychlil čas výpočtu.

# 2 ŘEŠIČE SOUSTAV ROVNIC

V současné době máme v nabídce 3 řešiče soustavy rovnic.

Přímý SPAR Jedná se o Choleského řešení založené na dekompozici matice soustavy. Výhodou tohoto řešiče je možnost řešit současně více pravých stran. Tento řešič je mimořádně výkonný pro malé a střední úlohy, dokud nezačne nadměrně pracovat s diskem. Tato hranice závisí na velikosti úlohy a velikosti paměti RAM. Pro většinu menších úloh je vhodnější tento řešič. Nevýhody tohoto řešiče se projevují u větších úloh. Při nedostatečné paměti RAM se výrazně prodlužuje doba výpočtu. Při nedostatečné velikosti disku nelze úlohu tímto řešičem spočítat. U rozsáhlých a špatně numericky podmíněných úloh může u přímého řešiče dojít k numerické zaokrouhlovací chybě, která již přesahuje technicky přijatelnou mez. Tato se projeví rozdílem mezi součty reakcí a zatížení. U svislé složky by rozdíl neměl přesahovat cca 0,5 %, ale již od cca 0,1 % mohou být výsledky podezřelé.

- Přímý MP-SPAR Jde o nový řešič založený opět na Choleského řešení. Je určen pro úlohy spadající do kategorií střední a velké, přičemž je výrazně rychlejší než obdobný řešič SPAR a navíc lze s jeho pomocí spočítat mnohem větší úlohy. Jeho nevýhodou je ale skutečnost, že nepodává podrobné informace o výskytu případných singularit.
- Iterační řešič Jedná se o variantu metody ICCG. Výhodou jsou minimální požadavky na velikosti RAM a disku, to znamená, že tento řešič je vhodný pro velmi velké úlohy s velkými šířky pásu, které by přímými řešiči již nebyly řešitelné nebo by se doba řešení vzhledem k enormnímu nárůstu diskových operací nepřiměřeně prodlužovala. Další výhodou iteračního řešiče je, že vzhledem k jeho schopnosti neustále zpřesňovat řešení dosáhne technicky přesného řešení i u úloh které by při použití přímého řešiče byly již numericky nestabilní. Nevýhodou tohoto řešiče je jeho neschopnost řešit současně více pravých stran (řeší se postupně), což u většího počtu pravých stran prodlužuje dobu výpočtu.

# 3 ŘEŠIČE VLASTNÍCH ČÍSEL

Stejně jako u řešiče soustavy rovnic jsou i pro vlastní čísla v současné době k dispozici tři řešiče.

- Iterace podprostoru
  Je vhodný pro malé, střední i velké úlohy a pro větší počty řešených vlastních čísel. Vzhledem k tomu, že se zde využívá Choleského dekompozice soustavy může u rozsáhlých a špatně numericky podmíněných úloh opět dojít k numerické nestabilitě. Program hledá nejmenší vlastní čísla v absolutní hodnotě, tedy kladná i záporná.. Na závěr řešení provádí kontrolu, zda byla nalezena všechna nejnižší vlastní čísla. V případě, že zjistí, že některé bylo vynecháno, nabízí dohledání.
  Iterační metoda ICG
  Vlastní čísla se neřeší současně jako u iterace podprostoru, ale postupně. Výhodou jsou malé nároky na RAM a disk a tím i možnost
- řešit velmi rozsáhlé soustavy, které by se již nedaly řešit iterací podprostoru. Tento řešič hledá pouze kladná vlastní čísla, nemá však kontrolu, zda byla všechna nejnižší vlastní čísla nalezena. Jistotu, že bude nalezeno n nejnižších vlastních čísel dává požadavek na řešení dvojnásobku (2n) vlastních čísel.
- Lanczosova metoda Tento řešič je vhodný pro středně velké úlohy. V některých případech může být rychlejší než iterace podprostoru, ale je dosti citlivý na numerické chyby.

# 4 SROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH TYPŮ

V rámci testování jsme provedli celou řadu výpočtů sloužících k porovnání starého a nového řešiče. Jednak nás zajímaly časy řešení rovnic, resp. vlastních čísel a dále jsme zkoumali, kam se posunula hranice spočitatelnosti nového 32-bitového a 64-bitového řešiče oproti původnímu. Testy jsme prováděli na počítači se 64-bitovým dvoujádrovým procesorem AMD Athlon 64 X2 4200+ osazeným 4 GB paměti. Výsledky některých testů najdete v následujících kapitolách.

#### 4.1 Příklad ED

Jde o budovu o 11 patrech modelovanou pomocí 317 plošných makroprvků a 27 prutových makroprvků (viz obr.1). Časy výpočtu řešení rovnic uvedených v tabulce 1 byly porovnávány u varianty s devíti zatěžovacími stavy.



Obr.1 – Schéma konstrukce

Po	čet	Čas řešení soustavy rovnic [h:m:s]		
uzlů	rovnic	SPAR 32 starý	MP-SPAR 32	MP-SPAR 64
13670	82020	0:00:29	0:00:06	0:00:06
39110	234660	0:01:56	0:00:57	0:00:25
59065	354390	-	0:01:23	0:00:35
103036	618216	-	-	0:01:10
144489	866934	-	-	0:01:47
273117	1638702	-	-	0:20:00
872086	5232516	-	-	3:55:00

Tab.1 – Porovnání časů řešení soustavy rovnic

Z tabulky je patrné, že starý řešič nebyl schopen spočítat úlohu, která má 350 tisíc rovnic a nový 32-bitový řešič byl použitelný pro daný počet zatěžovacích stavů jen do cca 400 tisíc rovnic.

Výše uvedené časy byly zpracovány do grafu (viz obr.2), přičemž z důvodu přehlednosti byly zobrazeny jen hodnoty do výše 1 milionu rovnic. Jak ale ukazuje tabulka, nový 64-bitový solver byl schopen spočítat i více jak 5 milionů rovnic s devíti zatěžovacími stavy za necelé 4 hodiny.



Obr.2 – Graf porovnání časů řešení soustavy rovnic v příkladu ED



Obr.3 – Výsledná deformace Uz úlohy ED

#### 4.2 Příklad Dubai

V dnešní době vzrůstá počet výškových budov a je nutno umět tyto náročné konstrukce spočítat. Za reprezentanta této skupiny úloh jsme si vzali jednu z výškových budov v Dubai – viz obr.4. Šlo o konstrukci o 35 patrech modelovanou pomocí 1589 plošných makroprvků a 1234 prutových makroprvků. Výpočet byl proveden pro 6 zatěžovacích stavů.





Vzhledem k tomu, že starý řešič nebyl schopen tuto úlohu při "rozumném dělení" spočítat, zaměřili jsme se v tomto případě jen na testování hranic nového 64-bitového solveru. Výpočty jsme začali u 800 tisících rovnic (dělení sítě bylo rovno 0,75 m) a i 7 milionů rovnic (dělení 0,25 m) řešič zvládl za výborných 5,5 hodiny – viz následující tabulka 2.

Počet		Čas řešení rovnic [h:m:s]
uzlů	rovnic	MP-SPAR 64
138415	830490	0:01:24
179292	1075752	0:04:00
843835	5063010	2:56:00
1213287	7279722	5:40:00

T 1 1	D / /	¥ 0	v v 7		•
1 ab.2 –	Porovnani	casu	reseni	soustavy	rovnic
1	1 01 0 / mam	cubu	I COUIII	sousiary	10,11







Obr.5 – Výsledná deformace Uz úlohy Dubai

### 4.3 Příklad HHa

Na tomto příkladu jsme testovali možnosti výpočtu vlastních tvarů. Za základ jsme si vzali výškovou budovu o 47 patrech (viz obr.6), kde bylo požadováno zjistit 40 vlastních tvarů. Dosud používaný 32-bitový solver dokázal tento příklad spočítat metodou iterace podprostoru jen do velikosti cca 250 000 rovnic. Vzhledem k rozměrům konstrukčních prvků ale nebylo možné toto extrémně řídké dělení akceptovat. Bylo proto nutno úlohu více zahustit a znovu spočítat. V úvahu přicházela jen 64-bitová verze iterace podprostoru. Provedli jsme několik výpočtů (viz např. obr.7), přičemž výsledky jsou uvedeny v následující tabulce 3.

Po	čet	Čas řešení vlastních čísel [h:m:s]
uzlů	rovnic	Iterace podprostoru 64
67774	406644	0:13:09
91875	551250	0:18:20
153238	919424	0:41:18
271409	1628454	18:51:00

1 ubio 1 01 0 i numi cubu i cocini viustinicii cisc	Tab.3	- Porov	vnání	časů	řešení	vlastních	čísel
---	-------	---------	-------	------	--------	-----------	-------

Při dělení konstrukce na 0,7m (cca 1,5 milionů rovnic) již použité 4 GB paměti nedostačovaly. Systém musel hodně "swapovat" a tato ustavičná práce s diskem výrazně prodlužovala výpočet. Použití počítače s větší pamětí by tento čas výrazně snížilo. I tak byly dosažené časy výborné. Navíc tuto úlohu by nebylo možno ve starší verzi spočítat ani iteračním solverem.



**Obr.6 – Schéma konstrukce** 



**Obr.7 – První vlastní tvar konstrukce** 

# 5 ZÁVĚR

Prezentované možnosti potvrzují, že použitím nového 64-bitového solveru dojde k výraznému urychlení výpočtů. Navíc lze spočítat úlohy, které nebylo myslitelné pouštět ve 32-bitovém systému. Zvláště nový přímý řešič soustavy rovnic MP-SPAR umožňuje spočítat i velké úlohy o větším počtu zatěžovacích stavů za relativně velmi krátkou dobu. Starý přímý řešič nebyl např. schopen vyřešit úlohu o 250 tisících rovnicích a 220 zatěžovacích stavech (překročil povolenou hranici 2GB) a iterační řešič by tuto úlohu počítal několik dnů. Takže tato úloha nebyla dříve v podstatě řešitelná. Použitím nového přímého 64-bitového řešiče lze daný problém vyřešit během několika minut. Proto tento solver doporučujeme nastavit jako defaultní.

Co se týká výpočtu vlastních čísel, tak zde je to podobné jako u 32-bitové verze. Tedy základem je iterace podprostoru a pokud už úloha nejde spočítat, použije se solver iterační. Rozdíl je ale v tom, že ve 64-bitové verzi se hranice spočitatelnosti iterací podprostoru posouvá výrazně nahoru a většinu úloh lze tímto solverem spočítat. Použití Lanczosovy metody je v současnosti trochu problematické. Někdy může být rychlejší než iterace podprostoru, ale mnohdy dává správné výsledky jen u několika prvních vlastních tvarů. Proto její použití bude předmětem další vývoje.

Závěrem můžeme konstatovat, že díky výše uvedenému se otevírají velké možnosti použití systému SCIA Engineer pro ještě podrobnější analýzu konstrukcí.

Tento příspěvek vznikl za podpory grantového projektu GAČR č. 103/08/0752.

# STABILITNÉ VÝPOČTY V SCIA ENGINEER 2008

### Ing. Milan Hric, PhD.

SCIA SK, s. r. o., Nám. Hrdinov 5, 010 010 Žilina

### 1 ÚVOD

Príspevok sa zaoberá možnými spôsobmi zadania a výpočtu vzperných dĺžok v programe Scia Engineer 2008.

# 2 VÝPOČET VZPERNÝCH DĹŽOK

Pre zadanie vzperných dĺžok v systéme Scia Engineer 2008 (ale aj v predchodcoch SCIA ESA PT) je zabudovaný automatický generátor vzpernostných systémov. Tzn. program sám analyzuje konštrukciu a vytvorí vzpernostný systém. V prípade že prúty spĺňajú nasledujúce podmienky, tak ich prepojí do jedného vzpernostného systému.

- 1) Prúty musia byť priame
- 2) LSS prútov musí byť rovnako orientovaný

Vzpernostný systém stanoví, v ktorom smere y-y/z-z sú uzly pevné/voľné. Vzdialenosť medzi pevnými uzlami sa rovná systémovej dĺžke L (L<sub>y</sub> resp. L<sub>z</sub>).

Vzperné dĺžky sú vždy určené podľa nasledujúceho vzorca: l = L \* k kde

- 1 je účinná vzperná dĺžka pre výpočet
- L je systémová dĺžka
- k je súčiniteľ vzpernej dĺžky

Súčinitele vzpernej dĺžky k je možné zadať ručne, vypočítať programom podľa približných vzorcov pre posuvnú a neposuvnú konštrukciu alebo vypočítať z výsledkov stabilitného výpočtu. K dispozícii je dnes celý rad stabilitných výpočtov (lineárny stabilitný výpočet, nelineárny stabilitný výpočet alebo možnosť spustenia stabilitného výpočtu na výsledkoch predchádzajúceho výpočtu, napr. nelineárneho výpočtu s vylúčením ťahaných prvkov (Analysis After Analysis).

#### 2.1 Vzpernostné systémy

Užívateľ sa pri stanovení vzpernostného systému môže rozhodnúť, či ponechá programom navrhnutý východzí vzpernostný systém "**Štandard**" alebo bude zadávať vlastný vzpernostný systém označovaný programom ako "**BC**" alebo zadá vlastné dáta o vzpere na konkrétny prút označované ako "**BB**". Označenie "**BC**" a "**BB**" je defaultné pomenovanie jednotlivých spôsobov zadávania dát o vzpere v Scia Engineer. Pomenovanie je možné zmeniť podľa požiadaviek užívateľa.

Podmienkou korektného návrhu vzpernostného systému "**Štandard**" programom Scia Engineer je korektné zostavenie výpočtového modelu (dôležité je najmä pripojenie prútov/uzlov !).



Obr. 1 – Prútový model

### 2.1.1 Východzí vzpernostný systém "Štandard"

Každý prút má prednastavenú vzpernú a relatívnu dĺžku tzv. " **Štandard**". Nastavenie nájdete vo vlastnostiach prúta (obr. 1).

Systémové dĺžky si môžete zobraziť pomocou parametrov pohľadu (obr. 2 a 3).

Vlastnosti	₽×
Prút (1)	💽 Va V/ 🥖
Názov	B13
Тур	všeobecný (0) 🔽 📃
Výpočtový model	Štandardný 🔽 📃
Prierez	CS1 - I240 🔽
Alfa [deg]	0,00
Systémová čiara p	stred 🗾
ey [mm]	0
ez [mm]	0
LSS	štandard 🗾
LSS Rotácia [deg]	0,00
FEM typ	štandard 🗾
Vzperné a relatívn	Štandard 🛛 🔻
Hladina	Hladina1 🔽 💟
Akcie	
Dáta o vzpere	>>>
Oprava geometrie	>>>

Nastavenie parametrov pohľa	du
🔲 Vybrať/Odvybrať skupina	Zamknúť polohu 🛛 🗌
Modelovanie/Kreslenie 🗠 🏧 Konštrukcia 📄 🖴 Konštrukcia	<ul> <li>Ø Rôzne</li> <li>▲ Zobrazenie</li> <li>▲ Model</li> <li>▲ Zaťaženia/hmoty</li> </ul>
🔽 Vybrať/Odvybrať všetko	
🕀 Ponuka	
🕀 Konštrukcia	
🕀 Uzly konštrukcie	
🕞 Parametre prútov	
Systémové dĺžky	✓
Nelinearity prvkov	
FEM typ	
E Siet	
Lokálne osi	
OK	Zrušiť







Obr. 4 – Zobrazenie štandardných systémových dĺžok

#### 2.1.2 Vzpernostný systém "BC"

Vzpernostný systém "**BC**" (obr.5) vzniká editovaním *štandardného* vzpernostného systému. Po kliknutí ľavým tlačítkom myši v okne vlastností prúta na ikonu  $\boxed{...}$  (obr. 2) sa automaticky vytvorí vzpernostný systém "**BC**", ktorý sa ukladá do knižnice vzperu (obr. 6a).



Obr. 5 – Vzpernostný systém "BC"

Výhodou tohto vzpernostného systému je, že ho môžete hromadne priradiť ďalším prútom s rovnakým počtom polí a môžete ho editovať v knižnici vzperu (obr.7).

Vzp	/zperné a relatívne dĺžky.															
Z	Základné nastavenia Dáta o vzpere															
ſ			ku	2000 Bank Int	eo du Immi		ka.	2001 1000 75	eo da Immi	kua	LIF	kaoM	ko1	452	lam	ŀ
		<u> </u>	y	USUVITY YS	eo dy finiti	- 22	N2	USUVITY 22	eo uz (mm	- Ny2	- NR	Карм	- KPT	κµ2	Iani	ι.
	1	🖾 Pevná		Podľa z 🔻		🖾 Pevná		Podľa z 🔻		1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	2	🗆 Voľná				🛛 Pevná		Podľa z 🔻		1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	3	🗆 Voľná				🖾 Pevná		Podľa z 🔻		1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	4	🖾 Pevná				🖾 Pevná										

#### Obr. 7 – Editovanie vzpernostného systému "BC"

Dialóg pre editovanie vzperu je iný pre betónové konštrukcie a iný pre oceľové, drevené a ďalšie konštrukcie. Dialóg sa riadi materiálom prúta.

V dialógu pod záložkou *Dáta o vzpere* (obr. 7) sa voľbou Pevná/Voľná zadá systémová dĺžka, ktorá sa má použiť pre výpočet (obr. 6b). Súčinitele vzpernej dĺžky k<sub>y</sub> a k<sub>z</sub> je možné buď zadať ručne alebo nechať počítať programom podľa približných vzorcov pre posuvnú a neposuvnú konštrukciu. Posuvnosť či neposuvnosť uzlov je možné nastaviť v troch úrovniach – pre všetky vzpernostné systémy v Menu pre nastavenie Ocele, pre jednotlivý vzpernostný systém v Menu Základné nastavenia (obr.7) alebo pre každú systémovú dĺžku samostatne v Menu Dáta o vzpere (obr.7). V Menu Základné nastavenia sa tiež nastavujú vzťahy pre výpočet systémových dĺžok pre priestorový vzper a klopenie, pretože programom sa automaticky generujú iba systémové dĺžky pre rovinný vzper k osám y-y a z-z.

Priestorový vzper a klopenie sa počítajú z takto definovaných systémových dĺžok. V Menu Dáta o vzpere (obr.7) si užívateľ zadá súčiniteľ vzpernej dĺžky k<sub>yz</sub> pre priestorový vzper a k<sub>lt</sub> pre vybočenie z roviny ohybu, na základe ktorých program vypočíta kritické (účinné) vzperné dĺžky pre priestorový vzper a klopenie. Zobrazenie parametrov pre klopenie závisí od zvolenej normy pre posudok, zobrazené parametre na obr. 7 sú podľa normy STN 731401: 98 Ak je zadaná nenulová hodnota pre kapM a súčasne je pre kp1 a kp2 nastavená nula, vykonáva sa výpočet štíhlosti pre klopenie podľa prílohy H.6. Ak je zadaná nenulová hodnota kp1 súčasne s nenulovou hodnotou kp2, vykonáva sa výpočet štíhlosti pre klopenie podľa prílohy H.2. Priame zadanie štíhlosti pre klopenie – ak je zadaná nenulová hodnota lamlt, berie sa do výpočtu klopenia vždy táto zadaná hodnota štíhlosti. Program rozlišuje mieru imperfekcie pre valcované a zvarované prierezy.

Varovanie: Pre U-prierezy musí byť štíhlosť pre klopenie vždy zadaná užívateľom, pretože hodnoty vypočítané programom môžu byť zavádzajúce !!!

#### 2.1.3 Dáta o vzpere na konkrétny prút "BB"

V jednotlivých dimenzačných servisoch (oceľ, betón, drevo) je možnosť zadať dáta o vzpere priamo na konkrétny prút. Sú to tzv. **prídavná dáta.** (obr. 8)

Dáta pre stabilitný posudok
 Vzperné dáta prútov
 LTB Podpery

Obr. 8 – Vzperné dáta prútov

Po dvojkliku na *Vzperné dáta prútov* sa dostanete do základného dialógu (obr. 9), ktorý môžete kedykoľvek dodatočne zmeniť. Po kliknutí na *OK* tieto dáta priradíte prútu (obr. 10).



Obr. 9 – Základný dialóg "BB"



Obr. 10 – Ukážka zadania "BB" na prút

Pr	út (1)	🔹 Va V/ /				
Γ	Názov	B9 🔼				
	Тур	všeobecný 💌 💻				
	Výpočtový	Štandardný 💌				
	Prierez	CS3-H 🔻				
	Alfa [deg]	0,00 🗸				
Ak	cie					
D	áta o vzpere	>>>				
S	účiniteľ vzperu	>>>				
0	prava geometrie	>>>				

Ďalšou možnosťou je zadanie pomocou "akčného" tlačítka, ktoré nájdete vo vlastnostiach každého prúta (obr.11).

Obr. 11 – "Akčné" tlačítko pre zadanie dát "BB" na prút

Dáta o vzpere			
	Názov	BB1	^
	Počet častí	3	
	Prút	89	
	Editovanie vzperu		
	Materiál prúta(ov)	Oceľ, drevo, iný	
	Súčinitele vzpernej dĺžky ky, kz alebo vzperné dĺžky	defaultne zo správcu knižnice 🔄	-
	Všetky ostatné a LTB súčinitele	defaultne zo správcu knižnice 🔄	
Ly Lz	Vzťahy vzpernostných systémov		
Lyz	ZZ	ZZ	
LVtb	yz	22	
	lt	22	
	súčiniteľ		
	súčiniteľ ky	Vypočítaj	
	súčiniteľ kz	Vypočítaj	
	Posuvný yy	Podľa Oceľ>Prúty>Nastavenie	
	Posuvný zz	Podľa Oceľ>Prúty>Nastavenie	
	Vplyv polohy zaťaženia	Normál.	
	Mcr	Vypočítané	
	Lokálna imperfekcia		Y
		OK – Zruš	it

#### Obr. 11 – Dáta o vzpere cez akčné tlačítko

#### Možnosti nastavenia "BB"

#### Zo štandardného výpočtu

V tomto nastavení program vždy počíta súčinitele  $k_y$  a  $k_z$  podľa vyššie spomínaných približných vzorcov pre posuvnú a neposuvnú konštrukciu.

- a) Ak mal prút priradený vzpernostný systém **Štandard**, program berie systémové dĺžky z tohto nastavenia.
- b) Ak mal prút priradený vzpernostný systém "BC", program berie systémové dĺžky z tohto nastavenia.
- c) Ak bolo v niektorom zo systémov nastavené ručné zadávanie hodnôt k<sub>y</sub> a k<sub>z,</sub> program bude toto ručné nastavenie ignorovať.

#### Zo stabilitného výpočtu

Ak sú k dispozícii výsledky stabilitného výpočtu, je možné nastaviť výpočet súčiniteľov vzpernej dĺžky  $k_y$  a  $k_z$  zo stabilitného výpočtu. Pre každý zo súčiniteľov je možné nastaviť iný tvar vybočenia a tiež je možné definovať maximálne hodnoty.

#### Defaultne zo správcu knižnice

Ak mal prút priradený vzpernostný systém "**BC**", sú všetky súčinitele, i ručne zadané, prevzaté programom z tohto nastavenia.

#### Zadanie užívateľom

Pri tejto voľbe je možné zadať spôsob zadania súčiniteľov vzpernej dĺžky  $k_y$  a  $k_z$  užívateľom (ručné zadanie alebo štandardný výpočet).

# 3 ZOBRAZENIE VZPERNÝCH DĹŽOK

Pre všetky vyššie uvedené spôsoby zadávania je možné zobraziť výsledné súčinitele a vzperné dĺžky po vykonaní výpočtu v jednotlivých servisoch pre dimenzovanie (oceľ, betón, atď.) a to pod položkou **Štíhlosť**. Samozrejmosťou je číselný výstup s detailným popisom súčiniteľov a vzperných dĺžok (obr.12).

	LO	k	posuvné	Lor	lam	lam_p		chi	
Y	9.00	1.91	áno	17.22	111.3	1.186	b	0.486	
Z	3.00	0.62	nie	1.86	24.8	0.264	с	0.967	
ΥZ	3.00	1.00		3.00	34.9	0.371	b	0.937	
LTZ	3.00	1.00		3.00	32.9	0.350	0.13	0.978	(čl.G.6 kapaM=1.00)

#### Nosník : B9, L=9.000m, Prierez : HEB 360, S 235

#### Obr.12 – Detailný výstup

Ak má prút priradené dáta o vzpere ( "**BB**" ), tak môžete výsledky zobraziť (prípadne aj editovať, ak je nastavené ručné zadávanie súčiniteľov) pomocou tlačítka, ktoré je umiestnené vo Vlastnostiach *Dátach o vzpere* (obr. 13).

.

Vla	stnosti	×
Dá	ta o vzpere (1)	💽 Va V/
	Názov	BB1
	Počet častí	3
	Prút	B9
	Editovanie vzperu	<u></u>
	Materiál prúta(ov)	Oceľ, drevo, iný
	Súčinitele vzpernej dĺžky ky, kz	Zadanie užívateľom 📃 💌
	Všetky ostatné a LTB súčinitele	defaultne zo správcu knižnice  💌
	Vzťahy vzpernostných syst	
	zz	22 💌
	yz	22 💌
	lt	22
	súčiniteľ	
	súčiniteľ ky	Súčiniteľ 📃 💌
	súčiniteľ kz	Súčiniteľ 📃 💌
	Posuvný yy	Podľa Oceľ>Prúty>Nastavenie 💌
	Posuvný zz	Podľa Oceľ>Prúty>Nastavenie 💌
	Vplyv polohy zaťaženia	Normál.
	Lokálna imperfekcia	
	eo dy	žiadne lok. imperfekcie
	eo dz	žiadne lok. imperfekcie

Obr.13 – Vlastnosti (Dáta o vzpere) – možnosť editovania

Taktiež môžete využiť "akčné" tlačítko, ktoré sa objaví po výpočte vo vlastnostiach prúta. (obr. 14).

Akcie	
Dáta o vzpere	>>>
Súčiniteľ vzperu	>>>
Oprava geometrie	>>>

### Obr. 14 – "Akčné" tlačítko "Súčiniteľ vzperu

učinitele vzperu														
	ky	Ly [m]	ly [m]	Posuvný yy	kz	Lz [m]	lz [m]	Posuvný zz	kyz	klt	kapM	kp1	kp2	lamlt
1	1,913	9,000	17,218	Podľa z: 🔻	0,619	3,000	1,858	Podľa z 🔻	1,000	1	0,000	0,000	0,000	0,000
2	1,913	9,000	17,218	Podľa za 🔻	0,855	3,000	2,566	Podľa z 🔻	1,000	1	0,000	0,000	0,000	0,000
3	1,913	9,000	17.218	Podľa z	0.919	3.000	2,756	Podľa z 🔻	1.000	1	0.000	0.000	0.000	0.000

**Obr.15 – Editovanie vzperu** 

### 4 LITERATÚRA

- [1] Handleiding moduul STACO VGI Staalbouwkundig Genootschap Staalcentrum Nederland 5684/82
- [2] Newmark N.M., A simple approximate formula for effective end-fixity of columns J.Aero.Sc., Vol.16, Feb.1949, pp.116
- [3] Stabiliteit voor de staalconstructeur uitgave Staalbouwkundig Genootschap
- [4] Rapportnr. BI-87-20/63.4.3360 Controleregels voor lijnvormige constructie elementen IBBC Maart 1987

# MOŽNOSTI NELINEÁRNÍ ANALÝZY VE SCIA ENGINEER 2008.1

### Doc. Ing. Jaroslav Navrátil, CSc. Ing. Drahoslav Kolaja

SCIA CZ, Slavíčkova 1a, 638 00 Brno ÚBZK FAST, VUT v Brně, Veveří 95, 662 37 Brno

# 1 ÚVOD

Článek popisuje novinky v nelineární analýze konstrukcí v systému SCIA Engineer ve verzích 2008 a 2008.1. Programový systém byl rozšířen především o:

- 2D elementy působící pouze v tlaku (vhodné pro nelineární výpočet zděných konstrukcí),
- AAA výpočet stability s využitím výsledků nelineárního výpočtu,
- AAA výpočet vlastních frekvencí s využitím výsledků nelineárního výpočtu,

Pro úplnost uveď me, že již v předchozích verzích programu byly dostupné moduly:

- geometrická nelinearita 1D i 2D konstrukcí,
- fyzikální a geometrická nelinearita železobetonových prutů [1],
- nelineární fáze výstavby.

# 2 2D ELEMENTY PŮSOBÍCÍ POUZE V TLAKU

Možnosti nelineární analýzy v programu SCIA Engineer byly ve verzi 2008.1 rozšířeny o 2D stěnové elementy působící pouze v tlaku. Tento model lze s úspěchem využít především pro výpočet zděných konstrukcí. Konstrukci lze nadefinovat pomocí standardních 2D ploch, kterým se přiřadí nelineární chování, v tomto případě vyloučení tahu, viz obr. 1.

Plocha			×
	Jméno	S2	~
	Typ	stěna (80)	-
	Výpočtový model	Standard	-
	Tvar	Plochý	
	Materiál	C12/15	·
3α	model FEM	Vyloučení tahu	~
+T	Tlouštka [mm]	Izotropní	
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	Typ LSS	Ortotropní	=
	Natočení LSS [deg]	Vyloučení tahu	
ez	Vrstva	Layer1	▼
	Uzly		
•	N5	abso	
	NG	abso	
	N7	abso	
IZ	N8	abso	
E	Data		
	Liniová eíla na braně plochy	LES2	×
X Y	kce		
	Tabulková úprava geometrie		>>>
		ОК	Storno

Obr. 1 – Nastavení nelineárního chování 2D ploch

V datech o projektu musí být dále požadována funkcionalita "Nelinearity" a musí být definována alespoň jedna nelineární kombinace. Výpočet probíhá tak, že v průběhu iterací řešič postupně snižuje tuhost tažených prvků v příslušném směru (určováno z hlavních poměrných přetvoření stěny). Prvky s tahem jsou tak vyloučeny a řešič dokonverguje do rovnovážného stavu (pokud jej lze nalézt). Rozdíl v průběhu vnitřních sil ukazuje obr. 2.

Stěna vlevo působí lineárně, u stěny uprostřed je vyloučený tah a u stěny vpravo je vyloučený tah, přičemž ke spodnímu okraji stěny je připojen ocelový prut, který simuluje výztuž. Z obrázku je zřejmý rozdíl v odezvě konstrukce.



Obr č. 2 Průběh normálové síly n2

Novou funkcionalitu lze využít například i pro ověření modelu příhradové analogie zvoleného pro železobetonovou konstrukci. V místě očekávaných nebo předpokládaných výslednic tahových sil ve výztuži je třeba umístit do stěnového modelu ocelové pruty 1D připnuté k vnitřním uzlům stěny s vyloučeným tahem. Nelineárním řešením zjistíme směry i velikost hlavních napětí betonu v tlaku.



#### Obr č. 3 Trajektorie hlavních napětí v modelu příhradové analogie

K výše popsanému modulu je třeba podotknout, že není vhodné kombinovat "vyloučení tahu" s velkými deformacemi. V programu se tedy nedoporučuje kombinovat "vyloučení tahu" s geometrickou nelinearitu řešenou metodou Newton-Raphsona. Dále je třeba si uvědomit, že při nelineárním výpočtu je snižována skutečně pouze osová tuhost prvků, které jsou namáhány tahem. Ostatní tuhosti 2D prvků zůstávají nedotčeny. Proto se mohou ve 2D prvcích objevit jako výsledek řešení tahová napětí, která vznikají v důsledku ohybu 2D prvků.

### 3 "AAA" - VÝPOČET STABILITY KONSTRUKCE S VYUŽITÍM VÝSLEDKŮ NELINEÁRNÍHO VÝPOČTU

"AAA" tedy zkratka pro Analysis After Analysis, tedy analýza po analýze. Zkratka vyjadřuje způsob výpočtu, jak je prováděn programem. Nejdříve je proveden jeden typ výpočtu a s využitím výsledků řešení provede program další výpočet jiného typu.

V praxi se můžeme například setkat s typem úloh, kde výpočet stability nepodává potřebné významné výsledky, ale vrací kritické koeficienty zatížení u nevýznamných prutů. Taková situace často nastává u tlačených diagonál. V takovém případě je dobré tlačené diagonály z výpočtu vyloučit. V původním řešení stability to znamenalo pracně upravit konstrukci, protože vyloučit některé prvky bylo možné pouze v nelineárním řešení. Často dokonce není na první pohled zřejmé, které pruty je třeba vyloučit. Nyní je možnost vhodně zkombinovat nelineární výpočet a řešení stability.

Obecně se dají vyjádřit rovnice na řešení stability

 $\det | K_0 + K_{\sigma} + K_{\sigma m} | = 0$ 

- K<sub>0</sub> Materiálová matice tuhosti
- $K_{\sigma}$  Matice počátečních napětí
- K<sub>σm</sub> Geometrická matice tuhosti pro dané zatížení

Pro každou stabilitní kombinaci můžeme určit zdrojovou nelineární kombinaci, odkud se pro výpočet stability použije matice tuhosti  $K_0$ , matice počátečních napětí  $K_{\sigma}$  i geometrická matice  $K_{\sigma m}$ .

Jako příklad použijeme jednoduchý rám, kde vyloučíme tlačené diagonály. Obrázky 4 a 5 ukazují průběhy normálových sil.



Obr č. 4 Průběh normálové síly – nelineární kombinace NC1

Pro stabilitní kombinaci např. S1 nastavíme zdrojovou kombinaci NC1. Kombinaci S2 nastavíme se stejným obsahem, ale bez odkazu na zdrojovou nelineární kombinaci. Rozdíly

ve výsledcích ukazuje tabulka na obr. 6. Kombinace S1 má nižší kritické koeficienty, protože výpočet vyloučil nevýznamné pruty



Obr č. 5 Průběh normálové síly – nelineární kombinace NC2

Preview		×					
🗞 🕼 📑 👉 📔 🕂 🗌 🖬 🖬 🖬 default							
Critical load coefficients							
Critical load coefficients							
N	f						
-	[]						
Stability combination : S1							
1	15,28						
2	23,08						
3	32,78						
4	49,36						
Stability combination : S2							
1	23,04						
2	33,07						
3	67,42	_					
4	87,02						
Ready (en, 0/0/0 bmps)	>	~					

#### Obr č. 6 Průběh normálové síly – nelineární kombinace NC2

## 4 "AAA" - VÝPOČET VLASTNÍCH FREKVENCÍ S VYUŽITÍM VÝSLEDKŮ NELINEÁRNÍHO VÝPOČTU

Podobně jako v předchozí kapitole je v tomto případě záměrem počítat vlastní frekvence na konstrukci, která bere v úvahu počáteční podmínky zjištěné nelineárním řešením. Jde především o

- počáteční deformace,
- lokální nelinearity na prutech,
- nelinearity podpor.

V definici kombinací hmot se opět vybere zdrojová nelineární kombinace, která bude použita pro získání potřebných veličin, viz obr č. 7

Combinations of mass groups								
🚚 🤮 🗶 😰 😂   🖴 🖉 All'filter 🔹 🖓								
CM1		Name	CM1					
		Description	(1)					
		Analysis after nonlinear						
		Nonlinear combination	NC1	▼				
	Ξ	Contents of combination						
		MG1	1,00					
	Ð	DS info						
	Ð	SysInfo	CEP_MassCombi					
New Insert Edit		Delete		Close				

#### Obr č. 7 Výběr zdrojové kombinace

Metoda výpočtu

- 1. Model je definován pro GNL (geometrická nelinearita).
- 2. Kombinace hmot se odkazuje na existující nelineární kombinaci.
- 4. Spuštění výpočtu vlastních tvarů. Ostatní výpočty se spouštějí automaticky podle potřeby.
- 5. Pro zobrazení výsledků se použijí standardní výsledkové servisy.

## 5 ZÁVĚR

Jak je uvedeno v úvodu, výše uvedená funkcionalita navazuje na moduly pro nelineární analýzu implementované již v předchozích verzích programu, především geometrickou nelinearitu 1D i 2D konstrukcí, fyzikální a geometrickou nelinearitu železobetonových prutů a nelineární fáze výstavby. Kromě toho je již ve vývojových verzích programu implementován výpočet dynamických zatížení (harmonická i seismická zatížení) s využitím výsledků nelineárního výpočtu. Tím bude v programu završena implementace známého P-Δ efektu i pro dynamické výpočty. V současné době dále probíhá vývoj modulu pro fyzikálně a geometricky nelineární řešení předpjatých betonových rámových konstrukcí a "AAA po TDA", která umožní provedení nelineární analýzy po časové analýze s využitím výsledků řešení účinků dotvarování a smršťování.

#### LITERATURA

[1] NAVRÁTIL, J., FOLTYN, P. Nelineární Analýza rámových konstrukcí systémem ESA PT, In: *sborník příspěvků konference s mezinárodní účastí 12. Betonářské dny 2005*, Hradec Králové, Czech Republic, ČBS ČSSI, 2005, p. 248-253

[2] NĚMEC, I. Základy nelineární mechaniky, studijní text pro seminář Nelineární mechanika, FEM consulting, SCIA, VUT Brno, 2007